MANUAL DE LINEAMIENTOS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VERDE

para Municipios Mexicanos Fronterizos

MANUAL DE LINEAMIENTOS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VERDE

para Municipios Mexicanos

Manual elaborado en IMPLAN Hermosillo

Coordinación general de proyecto: Arq. María Guadalupe Peñúñuri Soto

Coordinación técnica y de contenido: M.C. Eduardo Hinojosa Robles

Equipo técnico y de contenido:
Soc. Renata Lastenia Arana Abaunza, L.A.S. Adelaida Bustamante Ortega, M.D.U. Delia Celaya Urbieta, M.D.U. Rodrigo Sanchez Amaya

Ilustraciones: Arq. Gustavo Colin Canizales

Planos: Arq. Martha Nelly Alvarez Saucedo

Diseño gráfico y editorial: L.A.D. Tania Molina Tinoco

Agradecimientos especiales:
COCEF: Ing. María Elena Giner, M.P.A. Joaquín Marruffo Ruiz, Dr. Adrián Vázquez Gálvez
BDAN: Ing. Gerónimo Gutiérrez Fernández
SIDUR: Ing. Ricardo Martínez Terrazas, Ing. Hector M. Ruiz Arvizu, Arq. Ángel López Guzmán, Ing. Juventino Quintana Amaya
CEDES: Ing. Luis Carlos Romo Salazar
WMG: Dr. Joaquín Murrieta Saldivar
ITSON: Dr. Agustín Robles Morúa
UT Austin: M.L.A. Gabriel Díaz Montemayor
Otros: M.C. Francisco Javier Alvarado Gutiérrez

Instituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo
Blvd Luis Donaldo Colosio No. 248, Local 1
Colonia Prados del Centenario C.P. 83260
Hermosillo, Sonora, México

BECC COCE

AYUNTAMIENTO DE HERMOSILLO 2015 – 2018 IMPLAN

North American Development Bank
Banco de Desarrollo de América del Norte

Mensaje de la Administradora General de la Cocef



La misión de la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza es "preservar, proteger y mejorar la salud humana y el medio ambiente de la región fronteriza México-EE.UU., fortaleciendo la cooperación entre las partes interesadas y apoyando proyectos de desarrollo sustentable a través de un proceso bilateral transparente, en estrecha coordinación con el BDAN, las instancias federales, estatales y municipales, el sector privado y la sociedad civil."

El trabajo que aquí presentamos representa un ejemplo de lo que enuncia esta misión y en la cual estamos comprometidos tanto la COCEF como el BDAN. Durante los últimos tres años nos hemos dado a la tarea de buscar nuevas vías para colaborar con las comunidades fronterizas a través de proyectos ambientales de nueva generación, dentro del marco de acción aprobado por nuestro Consejo.

La Infraestructura Verde es un conjunto de elementos urbanísticos y de diseño que incorporan sistemas de vegetación y manejo de suelos para la provisión de servicios públicos particulares y de servicios ecosistémicos de manera más general, con espacios para potenciar la acción colectiva. Entre sus frutos se encuentran una gran diversidad de beneficios ambientales, económicos y sociales muy concretos.

El concepto de Infraestructura Verde fue inmediatamente aceptado por líderes de todos los estados y municipios fronterizos que se dieron cita en tres grandes foros de intercambio que organizó la COCEF entre 2014 y 2016, cuyas memorias se encuentran en nuestra página de internet. Estos foros sirvieron para identificar las oportunidades de continuar en la evolución hacia la sustentabilidad de las ciudades a partir de esquemas innovadores.

La producción de este Manual se enmarca en una segunda etapa de esfuerzos de la COCEF y el BDAN por facilitar la instrumentación de la Infraestructura Verde en la región fronteriza. En esta segunda etapa hemos apoyado la elaboración de reglamentos que incorporan elementos de Infraestructura Verde, el desarrollo de talleres de capacitación y la ejecución de intervenciones piloto en municipios fronterizos que han expresado interés por ello, así como lineamientos técnicos y de diseño, reunidos en este Manual, sobre los que se puedan basar los actores regionales para la incorporación de estas técnicas en sus proyectos de desarrollo. Ponemos este Manual en las manos de los responsables de transformar nuestras comunidades, seguros de que encontrarán ideas y motivaciones para mejorarlas no solo a través del concreto y la varilla sino con la aportación de los elementos vivos que propone la Infraestructura Verde.

Ing. María Elena Giner
Administradora General

CONTENIDO

Glosario 1

1 Introducción 6

1.1. Objetivos del Manual 8
1.2. Antecedentes 9
1.3. Alineación con Marco Regulatorio 11

2 Infraestructra Verde; Definición y Modelos de Desarrollo Homólogos 14

2.1. Definición de Infraestructura Verde 19
2.2. Modelos de Desarrollo Homólogos 22
2.2.1. Desarrollo de Bajo Impacto (LID) 22
2.2.2. Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS) 23
2.2.3. Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD) 23

3 Relevancia de I.V. en el Ámbito Urbano 26

3.1. Ejemplos de Modelos de Gestión 29
3.2. Beneficios de I.V. 46

4 Principios de Diseño de I.V. 54

5 Infraestructura Verde a Micro-Escala 62

5.1. Proceso de Diseño 63
5.2. Proceso Constructivo 64
5.3. Categorización de Técnicas 66
5.4. Fichas de Técnicas de I.V. 67
5.4.1. Glosario de Componentes para Técnicas de I.V. 68
5.4.2. ¿Cómo Consultar las Fichas? 88

5.4.3. Jardín Microcuenca 89
5.4.4. Jardín de Lluvia 95
5.4.5. Pozo de Infiltración 105
5.4.6. Zanja - Bordo 114
5.4.7. Drenaje Francés 121
5.4.8. Pavimentos Permeables 127
5.4.9. Presas Filtrantes 133
5.4.10. Cisternas 140
5.4.11. Techos Verdes 150
5.4.12. Muros Verdes 157
5.4.13. Matriz de Aplicación de Técnicas 165
5.5. Especificaciones Adicionales 167
5.5.1. Niveles Críticos 167
5.5.2. Disposición en Línea y Fuera de Línea 169
5.5.3. Zonificación de Vegetación, sus Funciones y Ubicación en las Técnicas 170
5.5.4. Paleta Vegetal 171
5.5.5. Formas de Crecimiento de Vegetación, sus Funciones y Ubicación en las Técnicas 174
5.6. Configuraciones Urbanas 177

6 Infraestructura Verde a Macro-Escala (escala urbana, de cuencas y subcuencas hidrológicas urbanas) 184

6.1. Condiciones de la I.V. a Macro-Escala 186

7 Metodología para Implementar I.V. a Macro-escala 194

7.1. Información para Diagnóstico 195
7.2. Gestión participativa 196
7.2.1. Dinámica FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas) 198
7.2.2. Geolocalización del análisis FODA 202
7.3. Plan Maestro o Estratégico 204
7.4. Ejecución 209
7.4.1. Seguimiento y evaluación de I.V. a corto y largo plazo 210

Anexo 1. Cálculos Relevantes 212

Fuentes de Información 232

Índice de Tablas

Tabla	Página
Tabla 1. Técnicas de I.V. incluidas en el Manual y sus sinónimos en español e inglés	67
Tabla 2. Componentes de Jardín Microcuenca	90
Tabla 3. Componentes de Jardín de Lluvia	96
Tabla 4. Componentes de Pozo de Infiltración	106
Tabla 5. Componentes de Zanja-Bordo	116
Tabla 6. Componentes de Drenaje Francés	122
Tabla 7. Componentes de Pavimentos Permeables	128
Tabla 8. Componentes de Presas Filtrantes	135
Tabla 9. Componentes de Cisternas	142
Tabla 10. Componentes de Techos Verdes	152
Tabla 11. Componentes de Techos Verdes	159
Tabla 12. Matriz de Aplicación de Técnicas	165
Tabla 13. Características de disposición En Línea y Fuera de Línea	169
Tabla 14. Uso paisajístico, función y ubicación de las diferentes formas de crecimiento de vegetación	174
Tabla 15. Componentes del paisaje con potencial de infraestructura verde (a macro-escala)	187
Tabla 16. Matriz de estrategias a desarrollarse con el FODA	200
Tabla 17. Ejemplo de estrategias de FODA obtenidas del taller de I.V. impartido en Nogales, Sonora, 2016	201
Tabla 18. Ejemplo de FODA elaborado en la ciudad de Tijuana	202
Tabla 19. Fórmulas para calcular área de figuras geométricas básicas	212
Tabla 20. Coeficientes de escurrimiento de diferentes superficies	214
Tabla 21. Requerimiento hídrico de la vegetación, con diferentes grados de demanda	227

Índice de Figuras

Figura	Página
Figura 1. Componentes de I.V. en un contexto urbano	17
Figura 2. Comportamiento del agua de lluvia en dos contextos: natural y urbano	26
Figura 3. Comparativa del funcionamiento de un sistema de I.G. y uno de I.V.	28
Figura 4. Pasos generales del proceso de diseño de I.V.	63
Figura 5. Técnicas de I.V. incluidas en el Manual	65
Figura 6. Gráfico ilustrativo de Jardín Microcuencas	92
Figura 7. Detalles constructivos de Jardín Microcuencas	93
Figura 8. Gráfico ilustrativo de Jardín de Lluvia	99
Figura 9. Gráfico ilustrativo de Jardín de Lluvia calle con estacionamiento en cordón	100
Figura 10. Detalles constructivos de Jardín de Lluvia	101
Figura 11. Detalles constructivos de Jardín de Lluvia (calle con estacionamiento en cordón).	102
Figura 12. Gráfico ilustrativo de Pozo de Infiltración con muros de mampostería	108
Figura 13. Gráfico ilustrativo de Pozo de Infiltración sin revestimiento	109
Figura 14. Detalles constructivos de Pozo de Infiltración con muros de mampostería (concreto prefabricado)	110
Figura 15. Detalles constructivos de Pozo de Infiltración con muros de mampostería (ladrillo)	111
Figura 16. Detalles constructivos de Pozo de Infiltración sin revestimiento	112
Figura 17. Gráfico ilustrativo de Zanja-Bordo	118
Figura 18. Detalles constructivos de Zanja-Bordo	119
Figura 19. Gráfico ilustrativo de Drenaje Francés	124
Figura 20. Detalles constructivos de Drenaje Francés	125
Figura 21. Gráfico ilustrativo de Pavimentos Permeables	130
Figura 22. Detalles constructivos de Pavimentos Permeables	131

Figura	Página
Figura 23. Gráfico ilustrativo de Presas Filtrantes	137
Figura 24. Detalle constructivo de Presas Filtrantes	138
Figura 25. Gráfico ilustrativo de Cisterna, sistema húmedo	145
Figura 26. Gráfico ilustrativo de Cisterna, sistema seco	146
Figura 27. Detalles constructivos de Cisterna, sistema húmedo	147
Figura 28. Detalles constructivos de Cisterna, sistema seco	148
Figura 29. Gráfico ilustrativo de Techo Verde	154
Figura 30. Detalles constructivos de Techo Verde	155
Figura 31. Gráfico ilustrativo de Muro Verde	161
Figura 32. Detalles constructivos de Muro Verde, en base de sustrato	162
Figura 33. Detalles constructivos de Muro Verde, hidropónico	163
Figura 34. Niveles críticos en técnicas de suelo	168
Figura 35. Zonas principales en técnicas de suelo	170
Figura 36. Formato de ficha de paleta vegetal	172
Figura 37. Ejemplo de ficha de paleta vegetal para una especie de Hermosillo	173
Figura 38. Infrastructura Verde en estacionamientos	177
Figura 39. Jardines de lluvia vinculados por medio de drenaje francés en una vialidad	178
Figura 40. Ladera de cerro con aterrazado y zanja-bordos	179
Figura 41. Integración de técnicas de I.V. en un contexto urbano y natural	180
Figura 42. Pasos principales de una metodología para implementar I.V. a Macro-escala	194
Figura 43. Clasificación de las variables de un FODA	198
Figura 44. Geolocalización del FODA sobre mapa, ejemplo de Tijuana	203
Figura 45. Conductividad Hidráulica Saturada (m/día) como función del tipo de suelo	220

Glosario

Acolchado - En jardinería y agricultura, es una capa de material que se aplica a modo de cubierta en un área de suelo, puede estar compuesta por materiales orgánicos o inorgánicos. El acolchado se puede aplicar en suelos desnudos o envolviendo la base de los tallos de plantas. Ver 5.4.1. para más información.

Acuaplaneo - Se puede definir como la pérdida gradual de contacto entre la llanta y la superficie del camino, la cual es provocada por la entrada de una delgada capa de agua con un espesor superior a medio milímetro.

Aguas grises - Son las aguas residuales provenientes de tinas, duchas, bañeras, lavabos o lavamanos, pilas de la cocina, lavavajillas o lavadoras, que aportan sólidos suspendidos, fosfatos, grasas y generalmente bajas concentraciones de coliformes fecales.

Aguas negras - Las aguas residuales provenientes de inodoros, es decir, aquellas que transportan excrementos humanos y orina, ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno y coliformes fecales en menor medida.

Agua pluvial - Es el agua proveniente de la lluvia, nieve o granizo.

Aguas Residuales - Son las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas.

Área permeable - Superficie del suelo provista de suelo natural y cobertura vegetal, o pavimentación de cualquier tipo de materiales que permitan la infiltración de agua.

Área verde - Los espacios abiertos urbanos, ocupados predominantemente con árboles, arbustos o cualquier tipo de vegetación (idealmente nativa o adaptada a las condiciones locales), que cumplen con todas o algunas de las siguientes funciones: esparcimiento, recreación, ecológicas, agrícolas, de ornamentación, recuperación y restauración del entorno.

Arriate - Área permeable de dimensiones variables (generalmente alargada) ubicada entre el espacio de tránsito peatonal de las banquetas y la calle, donde se puede plantar vegetación para mejorar la imagen urbana y/o las condiciones ambientales.

Cajete - Cavidad que se practica alrededor de la base de una planta para contener agua de riego o lluvia, abonos o fertilizantes.

Calle completa - Son aquellas que permiten el acceso seguro y eficiente para todos los usuarios, ya sean peatones, ciclistas, conductores y usuarios de transporte público de todas edades y habilidades.

Cambio climático - Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables.

Cobertura vegetal - Es toda capa de vegetación que cubre la superficie terrestre, comprendiendo una amplia gama de biomasas con diferentes características fisonómicas y ambientales que van desde pastizales hasta las áreas cubiertas por bosques naturales. También se incluyen las coberturas vegetales inducidas que son el resultado de la acción humana como serían las áreas de cultivos y ajardinadas.

Composta - Es el producto de la descomposicón aeróbica de los residuos orgánicos. Es un material inodoro, estable y parecido al humus. Se utiliza como abono y mejorador de suelo.

Cubresuelos - También llamadas tapizantes o rastreras, son plantas con un crecimiento de poca altura y con tendencia a extenderse y cubrir el suelo próximo.

Escarificar (suelo) - Remoción de las capas superficiales del suelo con el fin de mejorar la capacidad de percolación de éste.

Espacio abierto - Espacios no desarrollados, libres de edificios u otras estructuras edificadas.

Evapotranspiración - Es la pérdida del agua en un área vegetada a través de un proceso combinado de la evaporación del suelo y la transpiración de las plantas.

Fitorremediación - Es la descontaminación de los suelos, la depuración de las aguas residuales o la limpieza del aire interior, usando plantas vasculares, algas y/u hongos, y por extensión ecosistemas o asociaciones de organismos que contienen estas formas de vida.

Forma de crecimiento - Hábito de crecimiento puede usarse como sinónimo. Refiriéndose a la flora, describe el diseño o figura de los individuos, aunado a los cambios que sufre a lo largo de su vida. Se pueden incluir las formas de árboles, arbustos, hierbas, enredaderas, pastos y lianas. Puede también hacerse referencia a plantas erectas, rastreras o trepadoras. Para este Manual se consideran las formas de árboles, arbustos, suculentas (agaves, cactus, yucas), pastos, cubresuelos, enredaderas y hierbas.

Geomembrana - Lámina impermeable fabricada con materiales sintéticos (polietileno, caucho butilo, PVC, caucho o elastómeros diversos).

Hidropónico - Es el método de cultivo que permite producir plantas sin emplear suelo. En ésta, los nutrientes y el agua se suministran de forma conjunta a través del riego.

Infraestructura Gris - Para los efectos de este Manual, se refiere a la infraestructura construida con el único fin de desalojar las aguas las aguas pluviales dentro y en las periferias de la ciudad.

Isla de calor urbana - Este fenómeno consisite en el aumento de temperatura en las ciudades debido a la construcción con materiales que absorben y acumulan el calor a lo largo de las horas de insolación y lo liberan durante la noche impidiendo que bajen las temperaturas. Describe las zonas edificadas que presentan temperaturas promedio más altas que el campo abierto que las rodea.

Isla de fertilidad - Son parches de vegetación de mayor densidad que comprenden individuos (uno o más) de especies (una o más) de árboles y/o arbustos y otras plantas establecidas bajo la copa. Esto se debe a que algunos individuos de especies de mayores dimensiones (árboles y arbustos) incrementan la disponibilidad de humedad en el subsuelo inmediato y protegen a las especies de menores dimensiones (pastos, hierbas, cubresuelos, enredaderas) de condiciones climáticas adversas; además se presenta una mayor concentración de nutrientes en estos parches.

Lámina de precipitación - Es la lámina de agua que se acumula sobre una superficie horizontal. Se utiliza para obtener la medida de las precipitaciones en altura de agua; se expresa en mm de agua por unidad de superficie, (l/m^2).

Meandros - Es una curva pronunciada que se forma en el curso de un río que presenta ondulaciones en su recorrido.

Orejas - Son extensiones de la banqueta hacia la vialidad que pueden ser ubicadas en esquinas o en cualquier tramo de la cuadra. Ayudan a aumentar la seguridad peatonal ya que permiten disminuir la longitud de cruce para el peatón y aumentan la visibilidad al abarcar el espacio del estacionamiento en vía pública. Idealmente contienen un arriate con Infraestructura Verde (I.V.)

Paleta vegetal - Es un catálogo o listado de especies vegetales seleccionadas de acuerdo a criterios ambientales y paisajistas.

Partículas suspendidas - Son partículas que se encuentran en el aire y pueden incluir polvo, polen, químicos y metales, entre otros. Éstas se introducen en el sistema respiratorio con efectos negativos en la salud.

Permacultura - Es el uso sustentable de la tierra basándose en el diseño de las conexiones de todos los elementos del sistema. Este sistema de diseño produce un medio ambiente sostenible. Es una disciplina dedicada al diseño ecológico de áreas productivas capaces de sustentar a familias, comunidades e incluso regiones de un modo integral, reciclando nutrientes, residuos, y aprovechando la energía al máximo.

Plantas pioneras - Son las primeras plantas colonizadoras que ocupan terrenos descubiertos, generalmente degradados, y se encargan de iniciar la recuperación de la riqueza vital (biomasa, biodiversidad, nutrientes, entre otros) en esa zona.

Polifuncional - Hace referencia a aquel o aquello que puede cumplir con varias funciones.

Precipitación - Es el agua procedente de la atmósfera, y que en forma sólida o líquida se deposita sobre la superficie terrestre.

Resiliencia - Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un fenómeno, tendencia o perturbación peligroso respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conserven al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación.

Servicios ambientales - El término más aceptado por la comunidad científica es "Servicios ecosistémicos". Son los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas. Se clasifican en cuatro grupos: Servicios de soporte,

necesarios para la producción de los demás servicios, esto es reciclaje de nutrientes, producción primaria y formación del suelo. Servicios de aprovisionamiento, productos obtenidos de los ecosistemas, por ejemplo alimentos, agua, minerales, entre otros. Servicios de regulación, beneficios obtenidos de los procesos de regulación de los ecosistemas, por ejemplo purificación de agua y aire, control del clima, entre otros. Servicios culturales, beneficios no materiales como enriquecimiento espiritual, desarrollo cognitivo, la reflexión, recreación y las experiencias estéticas.

Sistema de riego o perímetro de riego - Se le denomina al conjunto de estructuras o infraestructura que hace posible el riego de un cultivo en un área determinada.

Sistema radicular - Es el conjunto de raíces de una misma planta.

Sucesión natural o ecológica - Es la serie de cambios que experimenta un ecosistema en la composición de sus especies a través del tiempo, ya sea en progresión o regresión.

Suculentas - Son plantas en las que algún órgano se ha modificado para poder almacenar mayores cantidades de agua.

Suelo Permeable - Es la propiedad que tiene el suelo de de infiltrar el agua. Es una de las cualidades más importantes que han de considerarse para la implementación de la I.V.

Técnicas de I.V. - Gama de productos, tecnologías, y prácticas que utilizan sistemas naturales (o sistemas producto de ingeniería que mimetizan procesos naturales) para mejorar la calidad ambiental general y proveer servicios básicos.

Vegetación espontánea - Es la vegetación que crece sin haberse sembrado o plantado, por simple propagación natural.

Vegetación nativa - También conocida como vegetación autóctona, comprende aquellas especies vegetales que tienen un rango de distribución natural que incluye la región donde se ubicarán los proyectos de Infraestructura Verde.

Vermicomposta - Es una técnica que consiste en la utilización de lombrices para la obtención de composta a partir de restos de materia orgánica.


1

Introducción

1.1. Objetivos del Manual

1.2. Antecedentes

1.3. Alineación con Marco Regulatorio

1.1. Objetivos del Manual

Objetivo General:

Guiar en el diseño y toma de decisiones para la incorporación de Infraestructura Verde (I.V.) en municipios mexicanos, mediante **lineamientos técnicos de diseño** a micro-escala (técnicas y tecnologías) y las bases de una **metodología** de aplicación a macro-escala (escala de cuenca y subcuenca urbana); por medio de planeación estratégica, gestión participativa y adecuación a condiciones ecosistémicas locales.

Objetivo específico a Micro-escala:

Desarrollar las especificaciones técnicas de diseño para I.V. de acuerdo a las categorías viales, entornos construidos y urbanización de las áreas donde se incorpore la infraestructura verde.

Aplicación de I.V. a Micro-escala

- Vialidades públicas y privadas: Arriates, camellones, glorietas, orejas, estacionamientos y áreas permeables vinculadas a las vialidades.
- Áreas Verdes: Parques, jardines públicos y privados, áreas deportivas y de equipamiento.
- Entornos habitacionales y urbanización: Jardines, techos verdes, muros verdes, áreas permeables.

Objetivo específico a Macro-escala:

Establecer las bases para el desarrollo de una metodología que asista en el diseño y planeación de I.V. a escala de cuencas y subcuencas urbanas, barrios y ciudad.

Aplicación de I.V. a Macro-escala

- Cuencas y subcuencas urbanas
- Elementos Hidrológicos Intraurbanos: Ríos, arroyos, canales, bordos, áreas de conservación, corredores biológicos, áreas naturales protegidas, zonas inundables.

1.2. Antecedentes

En 1993 se crean la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el Banco de Desarrollo de América del Norte (NADBank) a través de un Convenio Constitutivo como respuesta a inquietudes derivadas de la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. El primero funge como instancia técnica y el segundo como entidad financiera, ambos para la atención de temas vinculados con la salud y el medio ambiente en la zona fronteriza binacional. A partir del año 2004, la COCEF en coordinación con el NADBank, modifica su convenio constitutivo ampliando el área geográfica de interés para el desarrollo de las actividades de ambas instituciones, con ello se logra una mayor capacidad de impacto en la zona fronteriza que comprenden los Estados Unidos de América y México.

Con esta nueva delimitación regional se desarrollan las políticas específicas para realizar acciones de mitigación de los efectos del Cambio Climático (C.C.) considerando sectores de innovación, principalmente aquellos vinculados con la salud y el medio ambiente en áreas urbanas.

En el sector correspondiente a Agua, se destacan los esfuerzos para integrar prioritariamente técnicas y proyectos que deriven en intervenciones puntuales. Para ello, se han realizado una serie de estudios y diagnósticos que fundamentan la implementación de proyectos de I.V. Éstos comprenden desde el marco normativo y regulatorio hasta diagnósticos específicos de disponibilidad de recursos hídricos y caracterizaciones hidrológicas de los entornos en los que se pretende su aplicación. En un esfuerzo de difundir estas técnicas, se han implementado proyectos piloto que principalmente se vinculan con urbanizaciones específicas tales como vialidades, edificaciones e infraestructura de drenaje.

Parte de estos esfuerzos se han mostrado en tres Foros de I.V. realizados en 2014, 2015 y 2016 en las ciudades de Ciudad Juárez, Chihuahua; Tucson, Arizona y Saltillo, Coahuila, respectivamente. Los foros contaron con la participación de instituciones y expertos de ambos países. Además, se llevaron a cabo acciones conjuntas de formación de recursos humanos así como conformación de redes interinstitucionales que fortalezcan la implementación de políticas públicas en la región fronteriza.

Como complemento a lo anterior, se han priorizado dos aspectos fundamentales en la adopción de estas prácticas:

- Normatividad que regule y establezca la implementación de la I.V. en los municipios.
- Diseño técnico básico para la planeación, ejecución y gestión de las intervenciones en entornos urbanos.

Es así que en respuesta y fortalecimiento del proceso de implementación de I.V., se contrata al Insituto Municipal de Planeación Urbana de Hermosillo para la elaboración del presente "Manual de lineamientos de diseño de Infraestructura Verde (I.V.) para los municipios mexicanos".



COCEF
Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila, México
21 de septiembre, 2016
Asistentes a la inauguración del III Foro Fronterizo de I.V.

1.3. Alineación de Marco Regulatorio

A continuación se mencionan algunos ordenamientos jurídicos que brindan soporte a la aplicación de I.V. a nivel nacional.

La Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU)

Esta Ley sienta las bases del marco jurídico sobre las atribuciones y competencias de los ayuntamientos en materia de planeación y administración urbana. Tiene por objeto:

1. Fijar las normas básicas e instrumentos de gestión de observancia general, para ordenar el uso del territorio y los Asentamientos Humanos en el país, con pleno respeto a los derechos humanos, así como el cumplimiento de las obligaciones que tiene el Estado para promoverlos, respetarlos, protegerlos y garantizarlos plenamente;

2. Establecer la concurrencia de la Federación, de las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales para la planeación, ordenación y regulación de los Asentamientos Humanos en el territorio nacional;

3. Fijar los criterios para que, en el ámbito de sus respectivas competencias exista una efectiva congruencia, coordinación y participación entre la Federación, las entidades federativas, los municipios y las Demarcaciones Territoriales para la planeación de la Fundación, Crecimiento, Mejoramiento, consolidación y Conservación de los Centros de Población y Asentamientos Humanos, garantizando en todo momento la protección y el acceso equitativo a los espacios públicos;

4. Definir los principios para determinar las Provisiones, Reservas, Usos del suelo y Destinos de áreas y predios que regulan la propiedad en los Centros de Población, y

5. Propiciar mecanismos que permitan la participación ciudadana en particular para las mujeres, jóvenes y personas en situación de vulnerabilidad, en los procesos de planeación y gestión del territorio con base en el acceso a información transparente, completa y oportuna, así como la creación de espacios e instrumentos que garanticen la corresponsabilidad del gobierno y la ciudadanía en la formulación, seguimiento y evaluación de la política pública en la materia.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)

Esta Ley establece que el ordenamiento ecológico será considerado en la fundación de nuevos centros de población; la creación de reservas territoriales y la determinación de los usos, provisiones y destinos del suelo urbano; la ordenación urbana del territorio y los programas y mecanismos financieros del gobierno federal para infraestructura, equipamiento y vivienda.

Ley de Aguas Nacionales (LAN)

Esta ley otorga la administración de las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes a la Comisión Nacional del Agua, la cual promoverá la coordinación de acciones entre federación, estados y municipios con la participación de usurarios y particulares en la realización y administración de las obras y de los servicios hidráulicos, favoreciendo la descentralización de la gestión. La autoridad emitirá declaratorias de clasificación de zonas de alto riesgo por inundación y elaborara los atlas de riesgo conducentes.

Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable (LGDFS)

Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, producción, ordenación, el cultivo, manejo y aprovechamiento de los ecosistemas forestales del país y sus recursos, así como distribuir las competencias que en materia forestal correspondan a la Federación, los Estados y los Municipios.

Ley General de Cambio Climático (LGCC)

Esta ley tiene por objeto garantizar el derecho a un medio ambiente sano y establecer la concurrencia de facultades de la federación, las entidades federativas y los municipios en la elaboración y aplicación de políticas públicas para la adaptación al C.C. y la mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, así como regular las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero para lograr la estabilización de sus concentraciones en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático.

Programa Especial de Cambio Climático (PECC)

Contempla entre sus objetivos. Reducir la vulnerabilidad de la población y sectores e incrementar su resiliencia y la resistencia de la infraestructura estratégica; Conservar, restaurar y manejar sustentablemente los ecosistemas, garantizando sus servicios ambientales para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Programa Regional de Desarrollo del Norte 2014-2018 (PRDN)

Este programa se constituye como un instrumento que recupera el enfoque regional del desarrollo, para que las infraestructuras, los equipamientos, los servicios y en general, la racionalidad del proceso de desarrollo, se orienten a atender las necesidades regionales y a valorar sus recursos y vocaciones, contribuyendo a la atención de asuntos públicos multifacéticos e intersectoriales como pobreza, inseguridad, elevación de la calidad de vida, inclusión social, productividad y sustentabilidad, principalmente.

Plantea cinco objetivos:

Objetivo 1. Impulsar programas que eleven la productividad en la región Norte, y sectores de la economía;

Objetivo 2. Fortalecer el bienestar y capacidades de las personas de la región Norte;

Objetivo 3. Contribuir a preservar los activos ambientales de la región o Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales;

Objetivo 4. Ampliar la cobertura del territorio regional bajo sistemas de ordenamiento urbano territorial;

Objetivo 5. Promover el fortalecimiento de la infraestructura y los servicios de enlace y conectividad regionales.

Plan Nacional de Desarrollo 2013-2018 (PND)

Este plan, establece entre sus objetivos el de proveer un entorno adecuado para el desarrollo de una vida digna.

Programa Nacional Hídrico 2014-2018 (PNH)

Una de las estrategias propuestas en el PNH plantea como objetivo el fomento a la educación y conocimiento hídrico de la población para contribuir en la formación de una cultura del agua.

Programa de Ordenamiento Ecológico General del Territorio (POEGT)

Al ser instrumento de política ambiental, este programa permite establecer políticas públicas que faciliten la conservación, restauración, protección, mantenimiento y uso de los recursos naturales.


2

Infraestructura Verde; Definición y Modelos de Desarrollo Homólogos

2.1. Definición de Infraestructura Verde
2.2. Modelos de Desarrollo Homólogos
    2.2.1. Desarrollo de Bajo Impacto (LID)
    2.2.2. Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS)
    2.2.3. Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD)

2. Infraestructura Verde; Definición y Modelos de Desarrollo Homólogos

Desde comienzos del siglo XIX se hacía referencia a la necesidad de contar con un sistema ecológico o red de áreas verdes dentro de las ciudades modernas. Esta referencia hace alusión al sentido más amplio o de mayor escala de la I.V. (Macro-escala), que se puede entender como la estructura del paisaje que mantiene los ciclos ecológicos en operación dentro del tejido urbano. Por ejemplo, la Unión Europea (2013) ha definido la I.V. como la red de áreas naturales o semi-naturales que se diseña y administra para obtener una amplia gama de servicios ecosistémicos en el territorio. Otras referencias en este sentido por parte de académicos y arquitectos del paisaje renombrados son las siguientes:

Para "[…] proveer a la población de los beneficios que brinda la naturaleza en su conjunto, […] se deberá pensar en un sistema de parques interconectados alrededor de los barrios"

Frederick Law Olmsted, 1903

"[…] red interconectada de áreas naturales y otros espacios abiertos que conserva valores y funciones ecosistémicas naturales, sustenta agua y aire limpios, y provee una amplia gama de beneficios para las personas y la vida silvestre. […] es la estructura ecológica para la salud ambiental, social y económica, en resumen, nuestro soporte de vida natural."

Benedict y McMahon 2006

"[…] la I.V. está compuesta por estructuras paisajísticas críticas que son estratégicamente identificadas y planeadas para salvaguardar los variados procesos naturales, biológicos, culturales y recreativos a través del paisaje, asegurando valores naturales y servicios ecosistémicos esenciales para sustentar a la sociedad humana."

Kongjian Yu 2006

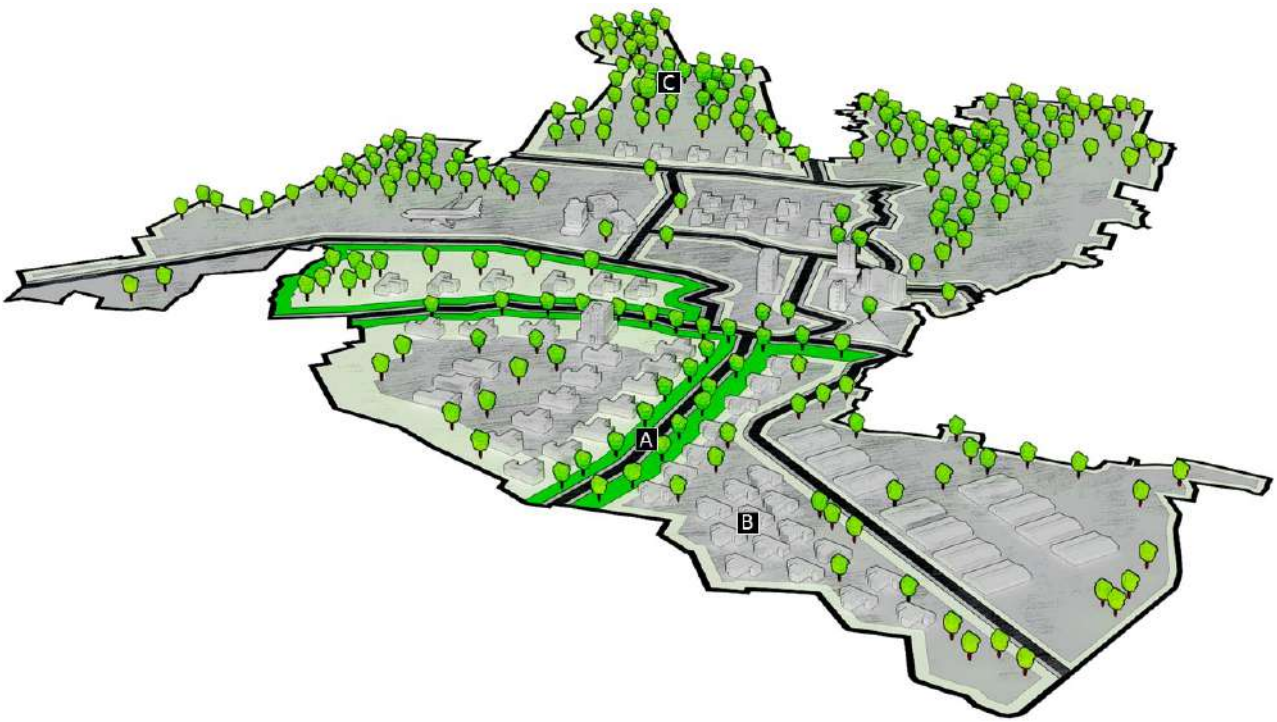
En este contexto, los espacios que pueden ser considerados como componentes de I.V. en una ciudad se mencionan a continuación y se ilustran en la Figura 1.

A. Espacio Público: Parques, vialidades verdes, camellones, glorietas, entre otros.

B. Residencial: Patios y jardines.

C. Áreas Naturales y Rurales: Ríos, arroyos, humedales, cerros, cañadas, corredores biológicos, áreas agrícolas, entre otros.

Figura 1. Componentes de I.V. en un contexto urbano



Adicionalmente, para obtener en su totalidad los beneficios que la I.V. puede ofrecer (ver Numeral 3.2), es necesario que exista conectividad entre los espacios que conforman la I.V. Esto es especialmente importante para la ecología, ya que mejora las posibilidades para migración de biodiversidad. Además, puede incrementar el compromiso público con el ambiente natural y ayudar en el establecimiento de formas de transporte sustentable o no motorizado (Landscape Institute 2009). Cuando dicha conectividad se ha logrado, entonces se puede hablar de una red de I.V. urbana.

Otra cualidad de la que se busca dotar a la I.V. y que ha llegado a ser básica para su concepción es la de polifuncionalidad. La razón es que se considera que cuando se logra que el paisaje (o en este caso alguna infraestructura o espacio urbano) cuente con un rango de funciones, aportará una gama más amplia de beneficios sociales, ambientales y económicos (Landscape Institute 2009).

Por otro lado, el concepto de I.V. se ha ido redefiniendo y ha recibido aportaciones de otros conceptos similares (descritos en 2.2. Modelos de desarrollo homólogos). En tiempos recientes (y para efectos de este Manual) se ha hecho énfasis en las intervenciones puntuales (a micro-escala) que hacen uso de ingeniería para aumentar la capacidad que tienen los espacios intervenidos de ofrecer servicios básicos para la sociedad.

De esta forma, la definición que se propone para I.V. en este Manual se expone en el siguiente apartado.

2.1. Definición de Infraestructura Verde

La definición de I.V. que se propone para los objetivos del Manual es la siguiente:

Infraestructura polifuncional que utiliza sistemas naturales (o sistemas producto de ingeniería que imitan procesos naturales) para mejorar la calidad ambiental y proveer servicios sociales, económicos, culturales y ambientales. La I.V. es utilizada como componente de un sistema de manejo y aprovechamiento sustentable de agua.





Martha Nelly Alvarez Saucedo
Facultad de Arquitectura, Universidad de Arizona, Tucson, Arizona, E.U.A.
25 de junio, 2016
Plazoleta diseñada de forma que capta y retiene agua de lluvia, ilustra el funcionamiento de la I.V. y aporta un espacio de gran confort para los estudiantes.

2.2. Modelos de Desarrollo Homólogos

Existen diversos modelos de desarrollo, planificación y diseño urbano que son homólogos a la I.V. Es importante conocerlos para saber que cuando se hace referencia a alguno de ellos, se puede estar haciendo a la I.V.

2.2.1 Desarrollo de Bajo Impacto (LID, por sus siglas en inglés: Low Impact Development)

Planificación y diseño de ingeniería para el manejo de agua pluvial. Enfatiza la conservación y el uso de atributos naturales. Utiliza controles hidrológicos a pequeña-escala para replicar el régimen hidrológico pre-desarrollo.

2.2.2 Sistemas de Drenaje Sostenible (SuDS, por sus siglas en inglés: Sustainable Drainage Systems)

Mimetizando procesos naturales, busca manejar el agua de lluvia a la vez que aumenta el valor de biodiversidad y servicios ecosistémicos.

2.2.3 Diseño Urbano Sensible al Agua (WSUD, por sus siglas en inglés: Water Sensitive Urban Design)

Modelo integral de planeación y diseño urbano que incorpora el ciclo del agua (manejo de agua pluvial, residual y de abastecimiento) con el fin de minimizar el impacto ambiental y mejorar la calidad de vida.

3

Relevancia de I.V. en el Ámbito Urbano

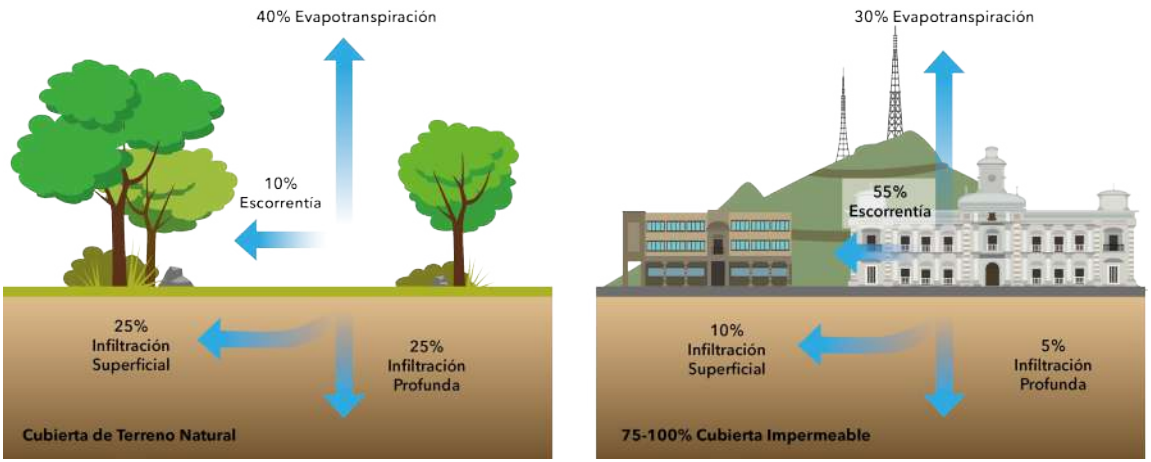
3.1. Ejemplos de Modelos de Gestión

3.2. Beneficios de I.V.

3. Relevancia de I.V. en el Ámbito Urbano

El proceso de urbanización acelerado característico del último siglo ha reducido el espacio abierto en las ciudades, especialmente aquel designado para áreas verdes o con funciones ecológicas. Al mismo tiempo, las superficies duras e impermeables ocupan cada vez más área dentro de las ciudades. Esto ha derivado en una serie de problemáticas urbanas: mínima recarga de mantos acuíferos y una creciente escasez de agua para consumo debido a la reducida infiltración de agua, aumento en las escorrentías que provoca inundaciones, pérdida de suelo y daño de infraestructura por depósito de sedimentos, disminución de biodiversidad, efecto de isla de calor urbana, y en general una reducción de servicios ambientales dentro de las ciudades. En la Figura 2 se puede observar una representación de los porcentajes aproximados de infiltración y flujo de escorrentías en dos escenarios diferentes: uno natural y otro urbanizado.

Figura 2. Comportamiento del agua de lluvia en dos contextos: natural y urbano



Fuente: Adaptación de EPA (Agencia de Protección Ambiental de E.U.), 2003

En el futuro las problemáticas antes mencionadas se verán agravadas con el C.C., el cual se manifiesta en gran parte de México con una menor precipitación total pero con eventos de lluvia más intensos, así como en un aumento de temperaturas.

En cuanto a las problemáticas derivadas del manejo de agua pluvial (aumento de escorrentías, pérdida de suelo, depósito de sedimentos e inundaciones), las ciudades cuentan básicamente con dos opciones para intentar resolverlas:

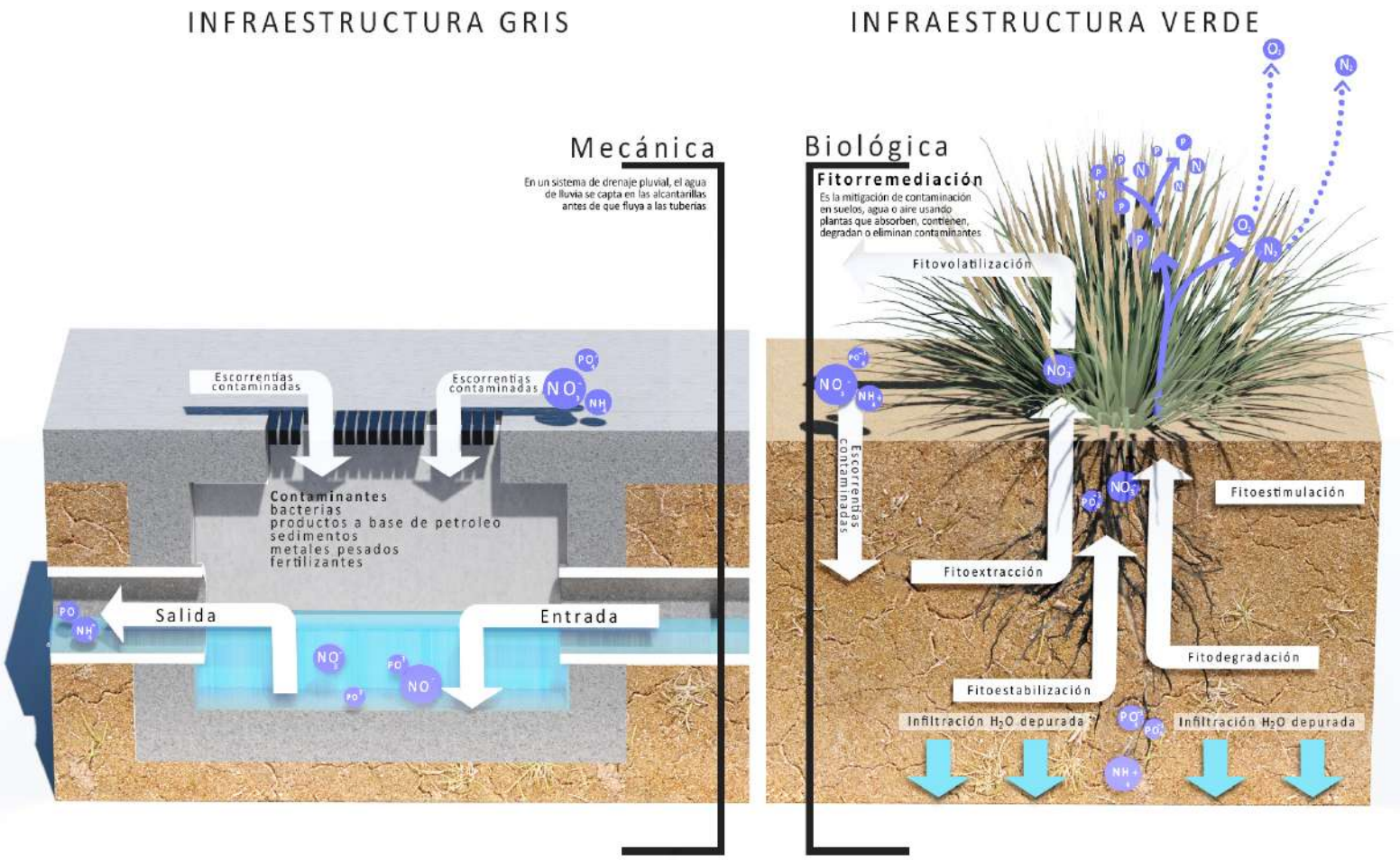
Infraestructura gris (I.G.). También llamada infraestructura dura, es la alternativa que se emplea tradicionalmente alrededor del mundo. Consiste en sistemas de drenaje que tienen la única función de transportar el agua fuera de la ciudad lo antes posible.

Infraestructura Verde. Esta alternativa relativamente reciente, hace uso de áreas verdes y/o de técnicas de I.V. diseñadas y planeadas estratégicamente para conformar una red. De esta forma contribuye a solucionar las problemáticas relacionadas con el agua pluvial al mismo tiempo que cumple múltiples funciones y aporta una amplia gama de beneficios socio-ambientales (ver Figura 3).

En la Figura 3 se muestra un esquema comparativo de I.G. e I.V. en el que se muestran los procesos involucrados en el manejo de agua pluvial con las dos opciones. Mientras que en la primera opción el agua simplemente es contenida y transportada sin que ocurran cambios significativos a su composición, en la segunda opción el agua atraviesa un proceso de fitorremediación mediante el cual es depurada antes de infiltrarse al suelo.

Por estas razones, resulta imprescindible incorporar I.V. en la planeación y el diseño, así como en la restructuración de las ciudades.

Figura 3. Comparativa del funcionamiento de un sistema de I.G. y uno de I.V.



Fitovolatilización	Proceso por el cual las plantas absorben, metabolizan y liberan a la atmósfera ciertos contaminantes en sus formas volátiles, menos tóxicas y menos peligrosas.
Fitoextracción	Algunas plantas acumulan contaminantes en sus tejidos, que después se pueden cosechar y disponer de forma adecuada. Así se remueven contaminantes de suelos, sedimentos y/o agua.
Fitoestabilización	Secuestro de contaminantes en el suelo a través de la absorción o acumulación en el sistema radicular.
Fitodegradación	Proceso metabólico que transforma contaminantes a moléculas más simples o de menor toxicidad
Fitoestimulación	Las raíces de las plantas producen exudados que estimulan el desarrollo de microorganismos capaces de degradar contaminantes.

3.1. Ejemplos de Modelos de Gestión

Alrededor del mundo existen ejemplos de aplicación de I.V. que han tenido distintos procesos de gestión, impulsados por diferentes actores. En muchos casos la implementación de I.V. ha llegado a nivel de Macro-escala, asegurándose como una estrategia de desarrollo urbano que trasciende cambios administrativos. Es importante tener en cuenta que no existe un camino único para lograr esto, ni hay una fórmula para lograrlo. A continuación se presentan cuatro ejemplos del proceso de implementación de I.V. en el mundo que han seguido caminos diferentes.

Nueva York, Estados Unidos de América, 2010

Objetivo

Solucionar la problemática relacionada al aumento de inundaciones por saturación del sistema de drenaje pluvial. Estas inundaciones se agravan con el C.C. por el incremento de frecuencia y cantidad de agua superficial proveniente de lluvias y nevadas. Además la obstrucción de alcantarillas no permite el flujo de agua al sistema de drenaje pluvial, agravando dicha problemática.

Actor inicial

Oficina de C.C. (2003)

Departamento de Protección Ambiental

Departamento de Construcción

Metas

Captar la escorrentía pluvial en:

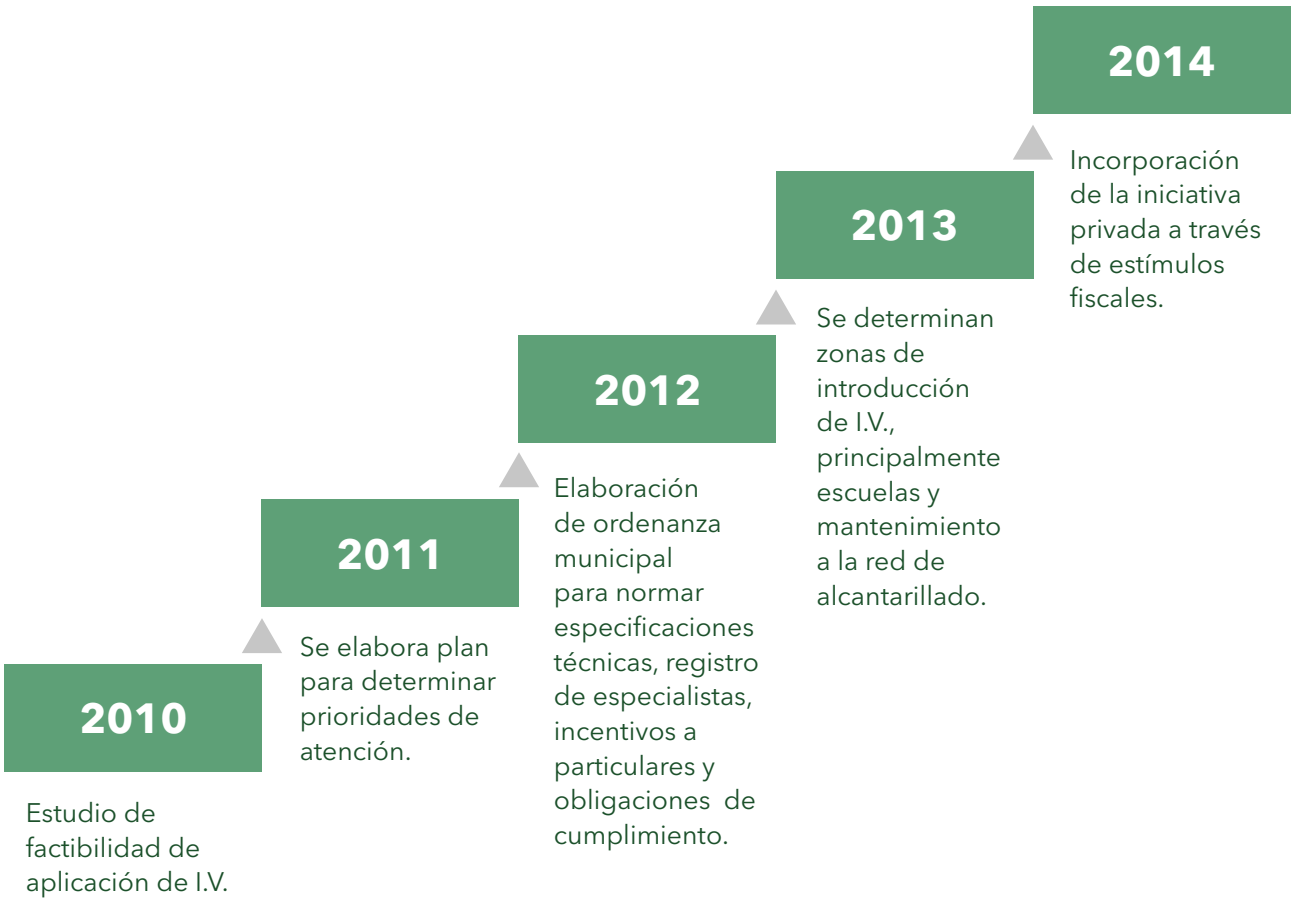
2015: 1.5%

2020: 5%

2025: 10%

2030: 15%

Proceso de Gestión




OFFICIAL
OPENING

NYC Department of Environmental Protection
Gil Hodges Garden, New York, New York, E.U.A.
18 de septiembre, 2013
Jardines de Lluvia en serie a través de una vialidad.

Copenhague, Dinamarca, 2007

Objetivo

Buscar fórmulas más innovadoras y sostenibles de fomentar las actividades económicas, abordando al mismo tiempo los retos medioambientales. Se enfatiza la búsqueda de soluciones ante los efectos del C.C. sobre inundaciones y el derrame de aguas negras en estuarios.

Actor inicial

Universidad de Copenhague

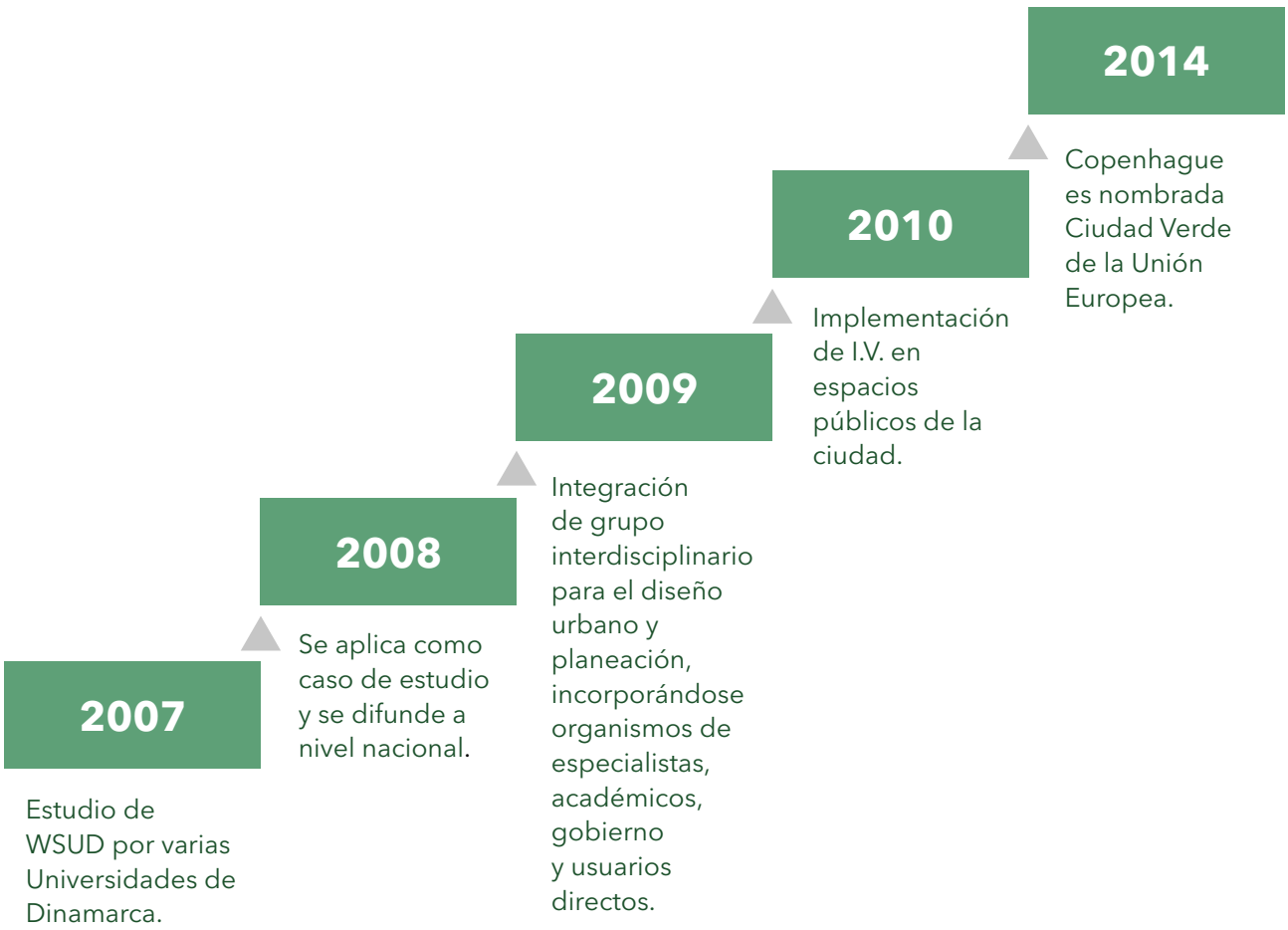
Gobierno Local

Administradores de Agua

Metas

Captar mediante la implementación de I.V. el 60% de las escorrentías pluviales provenientes del área impermeable de la ciudad.

Proceso de Gestión





Li Liu
Tåsinge Plads, Copenhague, Dinamarca.
3 de noviembre, 2015
Parque diseñado como una obra de I.V. a gran escala que captura y retiene escorrentías pluviales al mismo tiempo que mejora la calidad de vida del barrio.

Tucson, Estados Unidos de América, 2002

Objetivo

Rastaurar mantos freáticos y flujos naturales del agua.

Actor Inicial

Actores de la sociedad civil y la organización Watershed Management Group (WMG).

Metas

Que el río Santa Cruz vuelva a tener un flujo perenne para el 2050.

Proceso de Gestión

2003

Iniciativa de estudiantes de la Universidad de Arizona. Se constituye una organización para el desarrollo de actividades y acciones de manejo de agua.

2006

WMG recibe primera donación para desarrollar seis sitios de demostración de captación de agua en Tucson.

2009

Modelo de I.V. Barrios Escala, creada en Tucson, la transformación de 10 cuadras de la ciudad en el Barrio Rincon Heights, 12 talleres, 200 voluntarios. Reciben Premio "Hacer Arizona competitivo en el Premio del siglo 21" de American Planning Association.

2012

Se elabora Manual de infraestructura verde para comunidades del desierto.



Tania Molina Tinoco
N Stone Avenue, Tucson, Arizona, E.U.A.
25 de junio, 2016
Jardines Microcuenca interconectados que mejoran el confort
a través de una ciclovía.

Hermosillo, Sonora, México, 2016

Objetivo

Mejorar la calidad de vida, competitividad y sustentabilidad mediante la provisión de servicios ecosistémicos, sociales y culturales asociados a una red de I.V. que capture, infiltre y aproveche las escorrentías pluviales, disminuya el riesgo de inundaciones y el efecto "isla de calor", y mejore la imagen urbana.

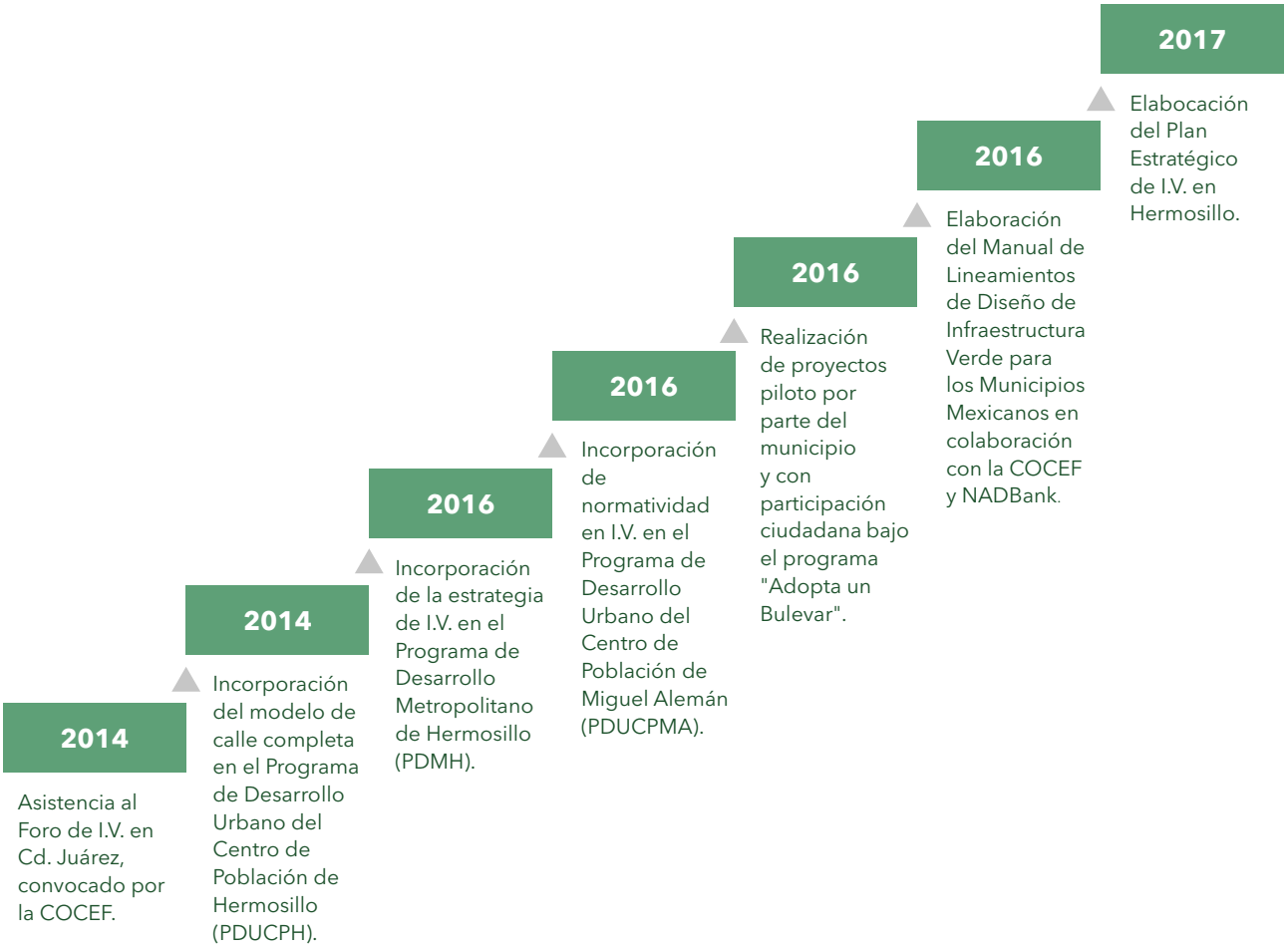
Actor Inicial

IMPLAN Hermosillo.

Metas

Adopción del modelo de Calle Completa con I.V. para toda nueva vialidad en la ciudad, y adecuación de las vialidades existentes en un 30% para 2030.

Proceso de Gestión





Luis F. Pérez Pumarino
Bulevar García Morales, Hermosillo, Sonora, México
5 de octubre, 2016
Proyecto demostrativo de I.V. desarrollado por Municipio de Hermosillo y la empresa Árbol 2000.

3.2. Beneficios de la I.V.

Los beneficios que se atribuyen a la I.V. son múltiples y de gran impacto positivo. Comparativamente, por ejemplo la infraestructura gris tiene el objetivo único de mover el agua pluvial a través de la ciudad y llevarla fuera de ella lo más rápido posible. La I.V. en cambio, reduce, trata e infiltra las escorrentías pluviales lo más cercano posible al sitio donde precipita, al mismo tiempo que aporta beneficios ambientales, sociales y económicos.

Los beneficios se pueden agrupar de la siguiente forma:

Agua

Mejoramiento de la calidad de agua. Las técnicas de I.V. tienen la capacidad de remover contaminantes que las escorrentías acumulan y transportan mientras fluyen por las superficies urbanas (Xiao y McPherson, 2011). Los contaminantes son removidos por el suelo en procesos físico-mecánicos característicos de la acción filtrante de los materiales. Además, la vegetación y los microrganismos asociados al sistema radicular degradan los contaminantes en un proceso conocido como fitorremediación.

Mejoramiento del sistema de abastecimiento de agua. Las técnicas de I.V. retienen agua de lluvia e incrementan la infiltración de ésta al subsuelo (Bedan y Clausen, 2009). De esta forma se incrementa la recarga de los mantos acuíferos (Los Angeles & San Gabriel Rivers Watershed Council, 2010, Stephens et. al., 2011). A esto se suma la reducción de demanda al sistema de abastecimiento de agua que resulta al captar agua de lluvia por medio de cisternas y utilizarla para diferentes actividades domésticas o para el riego de jardines.

Aire

Reducción de los niveles de esmog. El incremento de cobertura vegetal en una ciudad reduce los niveles de esmog a través de: la remoción de contaminantes atmosféricos como Óxidos de Nitrógeno y Compuestos Orgánicos Volátiles; reducción de la temperatura del aire; y la disminución de la demanda energética asociada a un reducido uso del aire acondicionado por el efecto de control térmico que tiene la vegetación (Akbari, 2005).

Disminución de partículas suspendidas en el aire. La vegetación, especialmente los árboles, filtran y mejoran la calidad del aire, absorbiendo partículas suspendidas (Nowak et. al., 2006, Nowak y Heisler, 2010).

Vida silvestre y hábitat

Hábitat de vida silvestre, incremento y refugio de biodiversidad. La I.V. a través de la vegetación, provee de hábitat para el establecimiento de aves, mamíferos, anfibios, reptiles e insectos. Al albergar especies vegetales nativas interactuando con especies animales, en la I.V. se promueve la sucesión ecológica. Esto aumenta la biodiversidad gradualmente y restituye las cadenas alimenticias (Alvey, 2006).

Mejores condiciones para el desarrollo de vegetación. El agua que se va captando e infiltrando en las técnicas de I.V. cada temporada de lluvias, junto a la reducida evaporación por efecto del acolchado, va aumentando la humedad disponible en el subsuelo (Kauffman, 2015). Los nutrientes se incrementan y la estructura del suelo mejora por la acumulación de materia orgánica. A esto se suma un mejoramiento en el desarrollo de microrganismos, de asociaciones biológicas entre estos y la vegetación, y entre las especies vegetales. Todos estos factores mejoran las condiciones para el desarrollo de la vegetación.

Desplazamiento de especies por conectividad de hábitat. Cuando se implementa la I.V. de forma que logra conectar hábitats por medio de corredores y nodos (elementos de I.V. como parques y áreas naturales), se facilita el desplazamiento de especies silvestres (Opdam et. al., 1995, Cornelis y Hermy, 2004).

Sociedad y Comunidades

Mejoramiento de la salud pública. El aumento de espacios verdes promueve la actividad física al aire libre, ayudando a abatir problemas de obesidad y previniendo enfermedades asociadas. Como se mencionó anteriormente, la I.V. puede mejorar la calidad del aire, lo que tiene efectos positivos sobre la salud. Además, se ha demostrado que el contacto directo con la vegetación (o los espacios verdes) tiene efectos positivos en la salud física y mental de las personas (Kuo, 2010).

Espacio para la recreación. El aumento de espacios verdes ofrece la posibilidad a los residentes de disfrutar del contacto con la naturaleza sin la necesidad de salir de la ciudad. Si la I.V. se implementa a macro-escala, se tendrá mayor disponibilidad de parques y jardines públicos, por lo que aumenta la oferta de espacios recreativos.

Mayor confort en el espacio público. Una mayor disponibilidad de espacios verdes en el ámbito público mejora el confort por efectos de regulación térmica y por el contacto directo con la vegetación (Picot, 2004, Ali-Toudert y Mayer, 2007). Esto también tiene el potencial de aumentar la movilidad no motorizada, particularmente al incluirse en el modelo de calle completa, permitiendo la integración de todos los actores de la movilidad en armonía con el entorno.

Incremento en la plusvalía del valor del suelo. El empleo de I.V. en desarrollos urbanos, así como el aumento en la cobertura vegetal, pueden aumentar el valor de las propiedades y acelerar las ventas, lo que beneficia a desarrolladores y a propietarios. Se han encontrado aumentos entre el 2 y el 10% en el valor de la propiedad cuando un barrio cuenta con árboles y otros espacios vegetados (Gallet, 2011)

Resiliencia climática

Control de inundaciones. Con el C.C., los eventos de lluvia cada vez más cortos e intensos se espera aumenten en frecuencia, lo que aumentará las inundaciones puntuales en las ciudades. La I.V. contribuye a reducir y frenar escorrentías, lo que previene el desborde de los sistemas de drenaje pluvial, las inundaciones en el espacio público y privado, y la saturación de cursos de agua urbanos (Foster et. al., 2011). Además, la implementación integral de I.V. a Macro- escala, ayuda a conservar planicies aluviales y cursos de agua, fortaleciendo al sistema de control de inundaciones en una ciudad.

Adaptación a sequías. El C.C. se verá reflejado en una disminución general de la precipitación, derivando en sequías y afectando en gran medida las regiones con estrés hídrico. La capacidad de la I.V. de aumentar la infiltración de agua, puede contribuir a solventar el estrés impuesto a los mantos acuíferos, especialmente cuando es implementada a Macro-escala (Shuster et. al., 2007). Además, la I.V. ofrece la posibilidad de captar y aprovechar el agua de lluvia, lo que se suma a solucionar las problemáticas derivadas de las sequías y a reducir la necesidad de importar agua para consumo. Esto es particularmente crucial en zonas áridas, que en el caso de México representan aproximadamente el 40% del territorio nacional.

Reducción del efecto "isla de calor urbano" y reducción de la demanda energética. El incremento de superficies construidas en un área aumenta la absorción y retención de calor. Esto deriva en mayor consumo de energía por uso de sistemas de climatización, mayor contaminación atmosférica y afectaciones a la salud relacionados. Con el C.C. esta situación se agravará por el aumento de temperaturas. La I.V., puede

contribuir a reducir estos efectos al aportar sombra y aislamiento térmico a las superficies construidas, al reflejar radiación solar y al emitir humedad por medio de la evapotranspiración (Akbari, 2005, Bowler et. al., 2010, Norton et. al., 2015).

Resiliencia costera. Las áreas costeras son particularmente sensibles a los efectos del C.C. La I.V. a Macro-escala como estrategia de protección de costas se puede establecer conservando humedales, arrecifes, bancos de arena, y barreras naturales que reduzcan la erosión y las inundaciones. De la misma forma, la restauración de estos espacios naturales en lugar de la construcción de estructuras grises, aporta múltiples beneficios al mismo tiempo que se protegen las líneas costeras (Swann, 2008).

Reducción de las emisiones de carbono. La I.V. con su asociado incremento de vegetación, ayuda a disminuir las emisiones al funcionar como sumidero de carbono (Getter et. al., 2009). Además de esto, la I.V. ayuda a reducir la demanda energética y las emisiones que resultan de ésta (Simpson y McPherson, 1996, Liu y Baskaran, 2003).

Infraestructura

Reducción de costos en infraestructura para el manejo de agua. La infraestructura necesaria para abastecer, tratar y transportar agua, se puede disminuir por medio de I.V., así mismo, la demanda municipal y doméstica de energía para el manejo de agua. Esto se logra al reducir el flujo de escorrentías que fluyen al drenaje sanitario, recargar los acuíferos y aprovechar el agua de lluvia. En un reporte emitido por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de E.U.) en 2007, se compararon los costos entre medidas convencionales y de I.V. para el manejo de agua, y se encontró que de los 12 casos analizados, en 11 la I.V. resultó entre 15% y 80% más económica (EPA, 2007).



Eduardo Hinojosa Robles
Valle de Guadalupe, Baja California Norte, México.
30 de diciembre, 2016
Techo Verde que logra una proyección del paisaje al interior de una terraza.


4

Principios de diseño de I.V.

4. Principios de Diseño de I.V.

Se han desarrollado tres grupos de principios: Principios de diseño sustentable, Principios de diseño integral y Principios de diseño aplicado. Estos sirven para guiar el proceso de diseño de I.V. Los dos primeros establecen una guía conceptual genérica para que el diseño contribuya a la sustentabilidad del paisaje; el tercer grupo establece parámetros técnicos que se deben integrar en los proyectos de I.V. Además, pueden ayudar al desarrollo de normatividad específica en cada Municipio.

Principios de diseño sustentable. Derivan del análisis de distintos enfoques de diseño urbano sustentable adaptados para el diseño de I.V.

- Mimetización de procesos naturales para el manejo de recursos hídricos.
- Polifuncionalidad de la Infraestructura Verde, incluyendo funciones educativas y recreativas.
- Transición del uso de infraestructura rígida (gris) hacia el uso de infraestructura con propiedades ecológicas (verde).
- Integración del agua en los procesos urbanos con el fin de restaurar el ciclo hidrológico y buscar cerrar el ciclo del agua.
- Minimización de la demanda de recursos de las áreas verdes urbanas.
- Incremento y fortalecimiento de los servicios ambientales en el ámbito urbano.
- Integración de la comunidad en el proceso de diseño y construcción. Al promover el sentido de apropiación, se garantiza el funcionamiento a largo plazo de la I.V.

Principios de diseño integral. Derivan del enfoque de permacultura y se han empleado para dar un alcance más amplio e integral a la I.V.

- Ubicación de los elementos[1] de diseño de forma que establezcan interrelaciones funcionales para que se asistan entre ellos intencionalmente.
- Cada elemento desempeña múltiples funciones (como pueden ser: barrera de viento, aporte de sombra, remate visual, fijación de suelo, refugio de fauna, alimento para polinizadores, entre otros).
- Cada función importante se soporta por múltiples elementos.
- Planeación para un uso eficiente de energía usando análisis de sectores y zonas.
- Uso de recursos biológicos en vez de recursos fósiles.
- Reciclaje de energía en sitio.
- Uso y aceleración del proceso de sucesión natural de la vegetación.
- Utilización de una diversidad de especies benéficas para un sistema productivo e interactivo.
- Uso de patrones y márgenes para mejores efectos.

[1] Elementos se refiere a todos aquellos que pueden formar parte de un diseño de I.V. (o de paisaje) como mobiliario urbano, vegetación, bordos, microcuencas, taludes, rocas, cisternas, edificaciones, pavimentos, por mencionar algunos.

Principios de diseño aplicados [2]

- Manejar el agua de lluvia desde la parte más alta de la cuenca que se intervendrá.
    - Determinar el área de la cuenca del sitio a intervenir e identificar contribuciones de escorrentía de y hacia cuencas aledañas (Ver Anexo 1. Cálculos relevantes).
    - Analizar la posibilidad e intentar intervenir las partes más altas de la cuenca que se encuentran fuera del área de proyecto.

- Colectar, esparcir, reducir la velocidad e infiltrar el agua de lluvia.
    - Incorporar I.V. tanto como sea posible en áreas abiertas y en vías públicas.
    - Capturar, depurar, infiltrar y/o aprovechar las escorrentías de calles y banquetas en áreas diseñadas para integrar I.V.
    - Capturar a través de I.V. por lo menos el primer centímetro de precipitación que cae sobre el área del proyecto.
    - Las depresiones de detención de la I.V. (microcuencas y canales) deben ser diseñadas para aceptar un mínimo de 5 centímetros de perfil de agua.
    - Evitar el daño a estructuras ubicando la I.V. a una distancia mínima de 1.5 metros de los cimientos de edificaciones.

- Crear sistemas con múltiples técnicas de I.V. interconectadas.
    - Dividir el sitio en pequeñas cuencas que alberguen técnicas de I.V. para maximizar la cosecha de agua.
    - Comenzar con aplicaciones pequeñas y sencillas.

[2] Basados en principios de WMG, Lancaster (2008), y la Ciudad de Tucson, E.U.

- Integrar tantos beneficios como sea posible.
    - Deben diseñarse sistemas que permitan el uso del agua pluvial para riego de la vegetación en el espacio público.
    - Se priorizará el uso de vegetación nativa o de ser necesario, vegetación con baja demanda de recursos.
    - A partir del tercer año, la vegetación debe mantenerse por sí sola o con un mínimo de riego externo (máximo un riego por semana en verano).
    - Plantar árboles para proporcionar sombra en banquetas siempre que sea posible.
    - Reducir la evaporación con el uso de acolchado. De preferencia emplear acolchado orgánico, que tienda a mejorar la calidad del suelo paulatinamente.

- Prepararse para eventos de desborde
    - Identificar niveles críticos (ver Numeral 5.5.1) y diseñar la I.V. tomando en cuenta los puntos de desborde de cada técnica, para generar un flujo ininterrumpido entre éstas. Dependiendo de la situación particular pueden diseñarse técnicas sin desborde.



CAFFENIO
Bulevar Enrique Mazón, Hermosillo, Sonora, México.
22 de abril, 2017
Voluntarios trabajando en la conformación de I.V. como parte del Programa Adopta un Bulevar.

5

Infraestructura Verde a Micro-Escala

5.1. Proceso de Diseño
5.2. Proceso Constructivo
5.3. Categorización de Técnicas
5.4. Fichas de Técnicas de I.V.
5.5. Especificaciones Adicionales
5.6. Configuraciones Urbanas

5. Infraestructura Verde a Micro-Escala



La aplicación de I.V. a Micro-Escala se refiere a las técnicas y tecnologías específicas a aplicarse en el territorio para obtener beneficios directos relacionados al manejo de agua pluvial e incremento de cobertura vegetal.

Water Management Group
Tucson, Arizona, E.U.A.
24 Agosto, 2014

Jardín Microcuenca con corte de guarnición.

5.1. Proceso de Diseño

El proceso de diseño en términos generales debe seguir los pasos que se presentan en la Figura 4.

Figura 4. Pasos generales del proceso de diseño de I.V.



5.2. Categorización de Técnicas

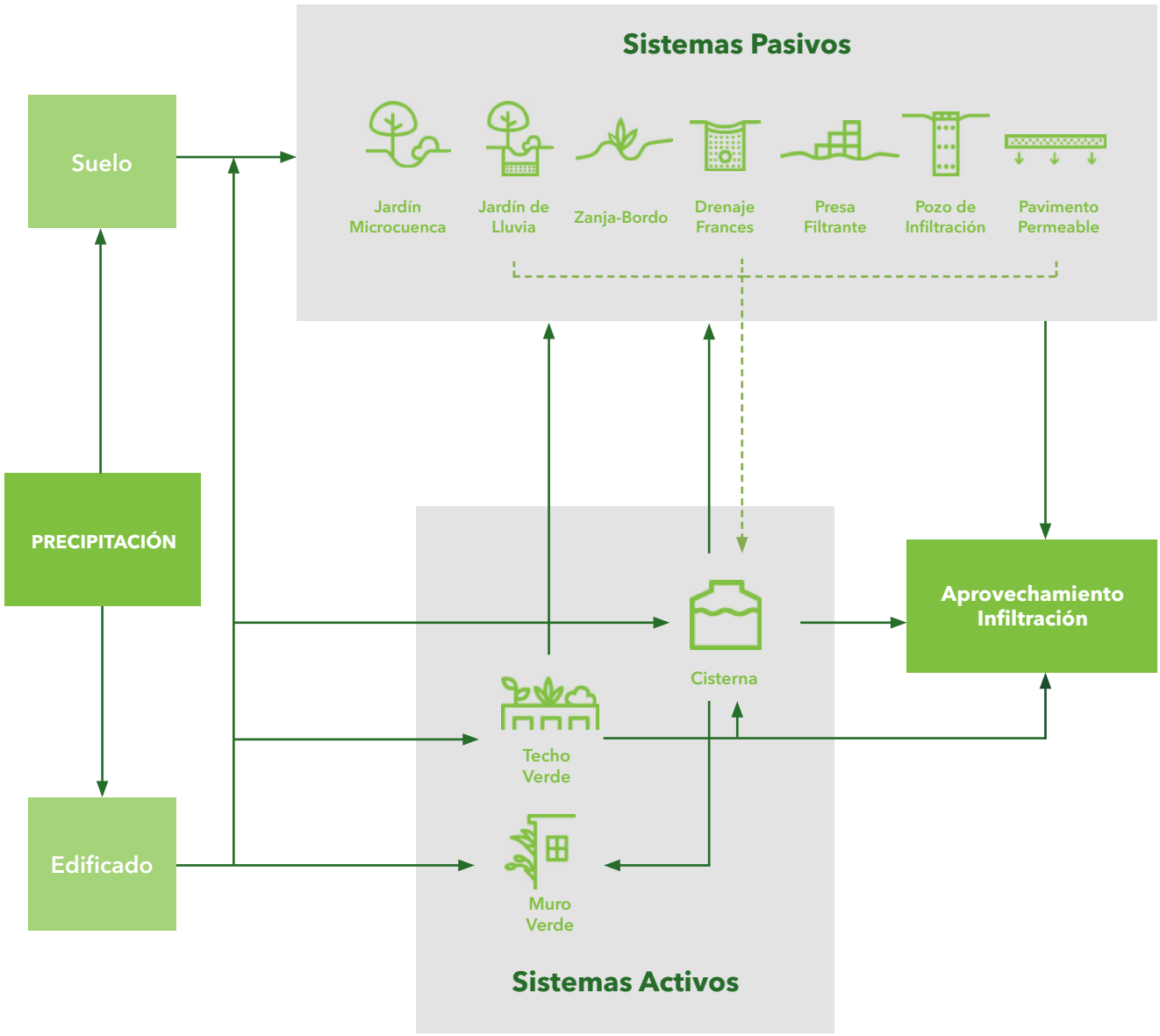
Las técnicas de I.V. se clasifican con base en su funcionamiento como se describe a continuación:

Sistemas Activos. Son las técnicas que requieren insumos externos para su mantenimiento y funcionamiento (energía, trabajo, materiales) después de haber sido instaladas o construidas.

Sistemas Pasivos. Son las técnicas que requieren insumos externos sólo para su mantenimiento (podas, irrigación por tiempo definido, limpieza) una vez que se han instalado o construido.

La Figura 5 ilustra un esquema general donde se exponen las técnicas a incluirse en el presente Manual así como su clasificación.

Figura 5. Técnicas de I.V. incluidas en el Manual



5.3. Proceso Constructivo

El proceso constructivo es la secuencia de pasos necesarios para la ejecución de las diferentes técnicas de I.V. Éstas difieren en los pasos que se deben seguir para su construcción, así como en sus componentes y especificaciones. Existen sin embargo pasos del proceso constructivo que son generales y aplican para todas las técnicas de I.V. A continuación se muestra cuáles son estos pasos generales. Por su parte, en la ficha de cada técnica de I.V. (ver Numeral 5.4) se describen los demás pasos necesarios en el proceso constructivo.

1. Revisión de Niveles (ver Numeral 5.5.1 Niveles Críticos)
2. Revisión de Instalaciones y redes – Eléctricas, agua, drenaje, alumbrado público, vegetación existente.

   Se debe evitar dañar las redes e instalaciones de servicios, por lo que es recomendable saber su ubicación y llevar a cabo los trabajos de construcción cuidando no afectarlas.
3. Ubicación de la técnica en el territorio.

   Existen diversos factores que pueden influir en la ubicación de las técnicas; espacio disponible, propiedad del suelo, instalaciones existentes, entre otros. Se debe cuidar que la ubicación sea la más adecuada con base en estos factores.
4. Entradas de agua / Desborde y salidas de agua.

   Todas las técnicas deben contar con una entrada para el agua, la cual debe ser diseñada y construida/instalada correctamente. De igual forma, deben contar con un sistema de desborde o salida de agua para evacuarla cuando se han saturado, y evitar así el colapso del sistema.

5.4. Fichas Técnicas de I.V.

En este apartado se desglosan fichas de las técnicas de I.V. que se han contemplado para este Manual. Las fichas tienen como objetivo integrar información descriptiva y especificaciones necesarias para el diseño y la correcta ejecución de las técnicas de I.V.

Las técnicas de I.V. que se incluyen en este Manual son:

Tabla 1. Técnicas de I.V. incluídas en el Manual y sus sinónimos en español e inglés

Técnica	Otras denominaciones
5.4.3. Jardín Microcuenca	Canales vegetados, franjas de filtrado o contención, infiltration basin, bioswales, vegetated swales.
5.4.4. Jardín de Lluvia	Humedales de banqueta, biorretenedores, rain garden, bioswales, bioretention basins.
5.4.6. Zanja-Bordo	Berm and basin, swales on-contour, swales off-contour.
5.4.7. Drenaje Francés	Zanja de infiltración, infiltration trench, dry well, french drain.
5.4.9. Presa Filtrante	Gaviones, diques de control, check dams, gabions.
5.4.5. Pozo de Infiltración	Pozo de absorción, infiltration well, dry well.
5.4.8. Pavimento Permeable	Permeable paving, permeable pavers, pervious pavement.
5.4.10. Cisterna	Tanques, cisterns, rainwater tanks.
5.4.11. Techo Verde	Azoteas naturadas, techos vivos, green roofs, living roofs.
5.4.12. Muro Verde	Jardines verticales, green walls, living walls, vertical gardens.

5.4.1. Glosario de Componentes para Técnicas de I.V.

Las técnicas de I.V. cuentan con una serie de componentes que hacen posible su funcionamiento. De lado derecho se ilustra las diferentes técnicas que cuentan con el mismo componente. En caso de diferenciarse dicho componente entre las técnicas, se explica en su descripción.

Componentes Comunes

Componente	Técnicas
Acolchado (mulch) Las capas superficiales de las intervenciones de I.V. (principalmente en el fondo de las cuencas) deben contar con un material particulado que puede ser orgánico (astillas, aserrín, paja, composta, desechos secos, entre otros) o mineral (gravas, gravillas, tezontle, piedra pómez, entre otros). La función del acolchado es conservar humedad al reducir las pérdidas de agua por evaporación, ayudar en la dispersión y mejor drenaje de agua, disminuir el desarrollo de vegetación espontánea, y mejorar la estructura y composición del suelo (cuando se usa acolchado orgánico), manteniendo la temperatura del suelo más estable. Cuando se construyen intervenciones de I.V. con depresiones profundas, se puede elevar el nivel de suelo por medio de acolchado, obteniendo con ello un incremento de la captación de agua y de la seguridad de los peatones.	 Jardín Microcuenca  Jardín de Lluvia  Zanja-Bordo

Componente

Barrera de suelo

Usualmente se usa una capa de geotextil, o una capa de arena sobre una de gravilla (de 5 centímetros cada una) entre la capa drenante y la capa de sustrato. La función de la barrera de suelo es evitar que los finos de la capa de sustrato se desplacen a la capa drenante para que ésta conserve su porosidad y capacidad de captación de agua.

Técnicas


Jardín de Lluvia


Drenaje Frances


Techos Verdes

Componente

Bordo

Elevación del terreno conformada por el suelo local compactado para darle forma y estabilidad. Ayuda a contener y/o conducir el flujo de agua. Los bordos se pueden utilizar para formar sistemas de múltiples microcuencas conectadas entre sí pero delimitadas por bordos para permitir una dispersión de agua gradual. Los bordos pueden albergar vegetación, lo cual ayuda a mantener su estabilidad y evitar su erosión.

Técnicas


Jardín Microcuenca


Jardín de Lluvia


Zanja-Bordo


Presas Filtrantes

Componente

Técnicas

Capa de sustrato

En Jardín de Lluvia. Llamada también capa filtrante, está compuesta por el suelo local que se ha retirado para establecer la capa drenante. En algunos casos se pueden hacer mejoras a la estructura del suelo, generalmente incrementando la cantidad de materia orgánica que contiene. En esta capa se lleva a cabo la mayor remoción de contaminantes y se establece la vegetación. El espesor mínimo de esta capa debe de ser de 30 centímetros y se debe de incrementar mientras más vegetación de grandes dimensiones se utilice. Cuando se establecen árboles, se recomienda un mínimo de 50 centímetros.



Jardín de Lluvia



Techos Verdes

En Techos y Muros Verdes. El sustrato para estos sistemas debe ser lo más ligero posible. Típicamente se prepara una mezcla homogénea de sustrato que se compone de materiales orgánicos e inorgánicos. Las características heterogéneas del suelo natural y la falta de conocimiento preciso de sus propiedades, evitan que se use en estos sistemas. En cambio se pueden usar materiales como escoria (morusa), ceniza, piedra pómez, arena, fibra de coco, corteza de pino, perlitas y/o materiales reciclados como ladrillo, teja o baldosa triturados, para los materiales inorgánicos. Los materiales orgánicos se mantienen en una proporción baja (1/3 aprox.) para evitar obstrucciones y pérdida de permeabilidad, usando generalmente composta o vermicomposta.



Muros Verdes

Componente

Capa drenante

Técnicas



Jardín de Lluvia



Pozo de Infiltración



Drenaje Frances



Techos Verdes

En Jardín de Lluvia. Esta capa está compuesta por materiales que aportan una permeabilidad elevada, generalmente agregados minerales gruesos (particulado con un mínimo de 2 centímetros, óptimamente mayor a 5 centímetros), como roca, residuos de hierro, cerámica o escombro producto de construcción como concreto y asfalto. La función de esta capa es la de incrementar la capacidad de captación e infiltración de agua al aumentar el volumen total de agua captada. De esta forma ayuda a crear un sistema de control de inundaciones más robusto. Además, promueve que el sistema radicular de la vegetación se extienda a capas inferiores por el incremento de humedad. Esto tiene múltiples beneficios como: incremento en la infiltración, protección a estructuras adyacentes y mayor estabilidad de las especies arbóreas. El espesor de esta capa puede estar en el rango de 40 a 90 centímetros. Cuando se establecen árboles, se recomienda un máximo de 75 centímetros, pudiendo ser de 90 centímetros cuando la vegetación de mayores dimensiones son arbustos.

En Pozos de Infiltración. En pozos con muros de mampostería, la capa drenante se coloca como un filtro perimetral de grava graduada (granulometría con un máximo de 5 centímetros) por fuera de los muros (mínimo 10 centímetros de espesor) y como una capa permeable de mínimo 30 centímetros de profundidad en la base del pozo. Estas capas ayudan en la dispersión de agua y para mantener la permeabilidad del sistema. En pozos de muros sin revestimiento, la capa drenante ocupa

toda la profundidad del pozo. En la base se emplea una capa de 5 centímetros de espesor de arena gruesa, sobre la que se coloca una capa de agregados minerales gruesos (granulometría mayor a 15 centímetros) que abarque el 50% de la profundidad total del pozo. Posteriormente se coloca una capa de grava (granulometría de 2 – 5 centímetros) con un espesor que abarque el 25% de la profundidad y por último se rellena el resto del pozo con una capa de gravilla (granulometría con un máximo de 1.5 centímetros).

En Drenaje Francés. Está compuesta por materiales que aportan una permeabilidad elevada, generalmente agregados minerales gruesos (particulado con un mínimo de 2 centímetros, óptimamente mayor a 5 centímetros), como roca, residuos de hierro, cerámica o escombro producto de construcción como concreto y asfalto. La función de esta capa es la de incrementar la capacidad de captación e infiltración de agua al aumentar el volumen total de agua captada.

En Techos Verdes. Pueden emplearse láminas de fibra sintética, polipropeno, mallas plásticas con lámina filtrante, placas drenantes de fibras textiles recicladas, de polietileno o poliestileno. Pueden también emplearse capas de grava o tezontle, siempre y cuando se cuide mantener el peso del sistema en un rango aceptable. La capa drenante en los Techos Verdes asegura el drenaje adecuado del sistema, evitando la saturación de la capa de sustrato y la consecuente degradación de la vegetación.

Componente

Técnicas

Desborde

En Jardín de Lluvia y Jardín Microcuenca. Pueden ser cortes en guarnición (o conformación en la guarnición durante su construcción) por donde se desbordará el agua una vez que se haya saturado la técnica. La parte inferior de los desbordes se encuentra a 5 centímetros por debajo del nivel superior de la guarnición.

En Zanja-Bordo. En esta técnica, o cuando se trata de microcuencas interconectadas con bordos delimitantes, se construye el desborde a modo de filtro de sedimentos, sobre el margen del bordo pero a un nivel más bajo (mínimo 10 centímetros). Al encontrarse al ras del borde, permitirá que el agua fluya a través de los desbordes a la vez que se impide el flujo de sedimentos entre las microcuencas.

En Presa Filtrante. Es recomendable en las presas de gaviones, mientras que para las de roca no es necesario. El desborde se conforma dejando una fracción del bordo de la presa (mínimo 40 centímetros) a un nivel más bajo, mínimo 20 centímetros. Generalmente se establece en el centro de la presa. Su función es la de aportar un control del flujo de desborde, lo que facilita actividades de mantenimiento.

En Cisterna. Consiste en una tubería por donde fluyen las demasías de agua una vez que la cisterna se ha saturado y no puede captar más agua. Debe colocarse al mismo nivel o a un nivel superior que la entrada de agua. El diámetro de la tubería del desborde debe ser igual al diámetro de la tubería de entrada de agua. Es recomendable orientar el desborde para que el flujo de agua se vierta en un sistema pasivo que tenga la capacidad de captar el agua y donde se aproveche este recurso.



Jardín Microcuenca



Jardín de Lluvia



Zanja-Bordo



Presas Filtrantes



Cisterna

Componente	Técnicas
Entradas de agua	Todas

Permiten el acceso del agua de lluvia hacia las técnicas de I.V. En las técnicas de suelo adyacentes a vía pública, pueden ser cortes en guarniciones o entradas elaboradas en sitio cuando las guarniciones son construidas. Otras opciones incluyen cunetas o tuberías, las cuales también son propias de Cisternas y Pozos de Infiltración. En Muros verdes no son comunes y los techos verdes generalmente sólo colectan el agua que cae directamente sobre ellos.

Componente

Técnicas

Filtro de sedimentos

En Jardín Microcuenca y Jardín de Lluvia. Se forma con una capa de material mineral de particulado mayor a los 5 centímetros que es colocado inmediatamente después de la entrada de agua abarcando un radio de 30 a 40 centímetros. Sirve para retener sedimentos y contaminantes que la escorrentía transporta, ayudando a mantener la porosidad y capacidad de infiltración del sistema.

En Pozo de Infiltración. El filtro de sedimentos consiste en una caja generalmente hecha a base de concreto, rellena de material particulado mayor a 5 centímetros, la cual se ubica en la entrada al pozo de infiltración, evitando de esta manera el ingreso de sedimentos.

En Cisterna. Se ubica entre la bajada pluvial y la tubería de conducción de agua, teniendo por objetivo filtrar el agua que acarrea sedimentos desde el techo como: hojarasca, tierra, insectos, entre otros. Consiste en una caja metálica con malla en su parte superior a través de la cual se retienen los sólidos y el agua pasa para continuar su recorrido por la bajada pluvial.



Jardín Microcuenca



Jardín de Lluvia



Pozo de Infiltración



Cisterna

Componente

Franja - filtro

Técnicas



Jardín de Lluvia



Techos Verdes

En Jardín de Lluvia. Se forma de material mineral (particulado mayor a los 2 centímetros) colocado en toda la extensión de la técnica del lado de la entrada de agua. Tiene la función de retener sedimentos y evitar que estos fluyan fuera de la técnica.

En Techo Verde. En su composición es igual al de un jardín de lluvia, sólo que con particulado entre 1 y 3 centímetros. Se coloca en todo el perímetro del techo verde o puede estar ubicado sólo en el lado hacia donde fluye el agua y en donde se encuentra el sistema de drenaje, rodeando o cubriendo a éste. Su función es retener sedimentos y mantener el funcionamiento del sistema de drenaje.

Componente

Membrana impermeable

En Jardín de Lluvia, Drenaje Francés y Pozo de Infiltración. Se pueden emplear geomembranas o plásticos de alta impermeabilidad. La función de la Membrana Impermeable es evitar que el suelo adyacente a la I.V. se erosione en casos en los que pueda haber afectaciones. Es necesaria cuando se cuenta con estructuras adyacentes a menos de 3 metros de distancia, como banquetas, calles o edificaciones, en cuyo caso se le coloca en toda la extensión del lado (o lados) que colinda con dichas estructuras.

En Techos Verdes. Puede ser instalada sobre la techumbre en forma emulsionada o mediante membranas sólidas. La primera opción puede estar compuesta de emulsiones de asfalto, sistemas de concreto de polímero, poliuretano, poliuretano acrílico, entre otros. Comúnmente se opta por esta opción cuando se realiza sobre techumbres muy irregulares o con muchas instalaciones de infraestructura o equipos. La segunda opción se ha generalizado más por su manejabilidad y mayor control. Es importante asegurarse de que la Membrana Impermeable evite el paso de raíces. Esto asegurará la permanencia del sistema a largo plazo. La resistencia contra raíces puede estar integrada a la membrana ya sea por adición de químicos inhibidores del crecimiento o porque la composición de la membrana provee una barrera impenetrable. Ejemplos incluyen bituminosa con refuerzo de poliéster, PVC termoplástico, hypalon, propileno, etileno, polietileno o tela con revestimiento de poliolefino. Una vez instalada la Membrana Impermeable, es fundamental probar su impermeabilidad. La función de esta capa es fundamental para la protección de la edificación.

En Muros Verdes. Puede ser una lámina de PVC, poliuretano o algún plástico firme. También se puede formar con una lámina de madera forrada con geomembrana o plástico de alta impermeabilidad. Su función es proteger de la humedad la superficie de las paredes en las que se anclan los muros verdes.

Técnicas



Jardín de Lluvia



Drenaje Frances



Pozo de Infiltración



Techos Verdes



Muros Verdes

Componente

Pendientes y depresión del terreno (microcuenca)

Técnicas



Jardín Microcuenca



Jardín de Lluvia



Zanja-Bordo



Drenaje Frances

En Jardín Microcuenca, Jardín de Lluvia y Zanja-Bordo. Las técnicas se modelan de forma que cuenten con un juego de pendientes y con una depresión bajo el nivel de las superficies adyacentes (ver Niveles Críticos 5.5.1). Con las pendientes se controla y conduce el volumen de escorrentías dentro de la técnica de I.V. Además la técnica se construye formando una depresión (microcuenca) en el terreno, que es el primer depósito de captación y parte del volumen total de agua captada por el sistema.

Drenaje Francés. En la base de esta técnica se conforma una pendiente mínima (1%) pero continua, ya que se procura que el flujo de agua sea lento con el objetivo de lograr la mayor infiltración al subsuelo.

El terreno sobre la técnica se conforma de tal forma que cuente con una ligera depresión (mínimo 5 centímetros) a modo de zanja a lo largo del drenaje francés, esto aydua a mejorar la captación de agua.

Componente

Técnicas

Superficies impermeables en pendiente

Son las superficies impermeables adyacentes al sistema; banquetas, calles, pavimento de plazas. Es importante procurar que estas superficies cuenten con una pendiente orientada hacia las técnicas de I.V. para conducir un mayor volumen de agua hacia éstas e incrementar así su funcionalidad.



Jardín Microcuenca



Jardín de Lluvia

Componente

Técnicas

Tubería perforada

Comúnmente se emplea tubería PVC (7.5 – 20 centímetros de diámetro) perforada o con ranurado a través de cortes transversales. Ubicada en la parte inferior del sistema a través de la capa drenante, sirve para colectar el agua y conducirla a algún contenedor (para su posterior reúso) o sistema de dispersión.



Jardín de Lluvia



Drenaje Frances

Componente

Vegetación nativa

Técnicas



Jardín Microcuenca



Jardín de Lluvia



Zanja-Bordo



Techos Verdes



Muros Verdes

Aunque pueden usarse técnicas no vegetadas, los beneficios son mayores cuando se cuenta con vegetación. A través de ésta las técnicas aportarán mayores beneficios. Sin embargo, es fundamental que la vegetación empleada esté adaptada a las condiciones ambientales locales, así una vez ya establecida, no se requerirá de insumos externos para mantenerla en buen estado, reduciendo los costos de mantenimiento. Si además se utiliza vegetación nativa (como es recomendado), los beneficios a la vida silvestre se ven incrementados significativamente. A esto se suma la posibilidad de resaltar la estética paisajística regional y de reforzar la identidad ecosistémica local.

Es importante intentar crear un dosel de arbolado continuo por medio de los árboles ubicados en las técnicas, principalmente en vialidades y estacionamientos. En el primer caso mejora las condiciones para peatones y ciclistas, y en el segundo ayuda a proteger a usuarios de vehículos de no sufrir impacto térmico al abordar a éstos. Para conseguir este dosel continuo, se deben conocer la dimensión de los árboles cuando se han desarrollado por completo. De ésta depende la distancia que se debe dejar entre los árboles.

Para calcular la distancia se emplea la siguiente fórmula:

Distancia = (Radio Árbol 1 + Radio Árbol 2) - 2 metros

Componentes Particulares



Cisterna

Ficha 5.4.10

Bombas

Son equipos eléctrico-mecánicos utilizados para desplazar el agua a lugares en contrapendiente. Generalmente son necesarias cuando el agua se utilizará en sitios que se encuentran retirados del sistema o que tienen un nivel topográfico superior. Existen bombas de tipo centrífugas, de circulación periférica o de circulación.

Canalones y bajadas pluviales

Es el conjunto de elementos que se encargan de colectar y conducir el escurrimiento pluvial desde el techo hasta el filtro de sedimentos. Están constituidos por estructuras generalmente a base de acero galvanizado, aluminio ó polímeros que llevan una pendiente (entre 1 y 2 %) que permiten el flujo del agua. Incluyen también las uniones llamadas codos que facilitan el flujo del agua en los cambios de dirección.

Cisterna

Es la estructura física que permite almacenar el agua recolectada para posteriormente ser utilizada. Pueden estar elaboradas de diferentes materiales, como el acero, polietileno, concreto, entre otros. Además, pueden tener varias capacidades de almacenamiento dependiendo del volumen que se espera recolectar. En el mercado se pueden encontrar cisternas que van desde los 2,500 hasta los 25,000 litros.

Salida de agua y válvula reguladora

Constituye la salida del agua que se ha almacenado en la cisterna y que será aprovechada. La válvula sirve para controlar la presión del flujo de agua en su salida al exterior de la cisterna.

Sistema de filtros post/captación

En el uso del agua captada se pueden emplear filtros para purificar el agua. Generalmente se emplean filtros estándar para actividades domésticas los cuales tienen la capacidad para retener partículas con tamaños de hasta 50 micras (del grosor de un cabello). Sin embargo, pueden emplearse sistemas de purificación más efectivos para alcanzar una mayor calidad de agua que permita el consumo humano.

Sistema de primer flujo

Es una tubería dispuesta verticalmente (usualmente de PVC) y directamente bajo el filtro de sedimentos, cuya función es la de contener el primer escurrimiento pluvial (caracterizado por tener más sólidos e impurezas) actuando como un filtro. Dicho escurrimiento junto con los sólidos puede ser desalojado en su parte inferior.

Tubería de conducción de agua

Generalmente son tuberías de PVC. Conducen el agua del filtro de sedimentos a la cisterna. Dependiendo del sistema (húmedo o seco), se instala bajo tierra o de forma aérea.

Tubo de ventilación

Generalmente de PVC y colocado en la parte superior de la cisterna a modo de exhaustor, permite ventilar el interior del tanque con el propósito de prevenir la formación de vacío cuando grandes cantidades de agua son desalojadas.

Conducto infiltrante

Está generalmente compuesto por el mismo material que forma la capa drenante envuelto en geotextil para formar un conducto a modo de tubería permeable con un diámetro de mínimo 30 centímetros. También se puede construir en forma de gavión forrado con geotextil. Se coloca verticalmente conectando la capa superficial del jardín (generalmente la franja-filtro o filtro de sedimentos) con la capa drenante. Su función es facilitar la infiltración del agua a la capa drenante. Este conducto puede conformarse para abarcar una mayor extensión e inclusive todo el largo del jardín, lo que aumentaría aún más la capacidad de captación.

Pozo de observación

Estos pozos son estructuras tubulares sólidas, generalmente construidas con tubería de PVC. Pueden instalarse en algunos sitios designados para llevar a cabo monitoreo de diversos parámetros (altura piezométrica del agua subterránea, humedad del suelo, calidad de agua, entre otros), o para inspeccionar el funcionamiento de la I.V.

Pavimentos Permeables



Ficha 5.4.8

Superficie de rodamiento

Es la capa superficial con características de porosidad que se conforma sobre la estructura de pavimento. Puede ser construida a base de concreto asfáltico (pavimentos flexibles) o hidráulico (pavimentos rígidos).

La superficie de rodamiento generalmente tiene una relación de vacíos que varía del 15 al 25%, lo que permite el paso de 120 a 300 litros de agua por cada m². Su espesor varía de acuerdo a la carga vehicular que recibirá. En el caso de pavimentos a base de concreto hidráulico, un espesor de 19 centímetros es recomendable. Para pavimentos a base de concreto asfáltico, el espesor recomendable es de 5 centímetros como mínimo.

Estructura del pavimento

Es el conjunto de capas conformadas por materiales pétreos cuya función es la de soportar las cargas vehiculares. En el caso de los pavimentos flexibles (asfálticos), se tendrá una base hidraúlica de material granular a base de gravilla, una sub-base a base de grava y una tercer capa, conformada por un terraplén. Para el caso de pavimentos rígidos (de concreto hidraúlico), solo se requiere de una base hidráulica de material granular a base de gravilla directamente sobre la capa de terraplén. A través de estas capas el agua se almacenará y continuará infiltrándose hacia el subsuelo.

Es deseable incluir además un pozo de absorción que aumente la capacidad de almacenamiento en esta técnica, pudiendo ubicarse un pozo a cada 100 metros.

Contenedores

Los contenedores pueden ser metálicos, a base de plástico o de cerámica. También pueden ser dos capas de fibra mineral o manta de fieltro unidas entre sí, en las que se conforman pequeños contenedores, generalmente usados en sistemas hidropónicos. Tienen que estar conformados de forma tal que permitan la penetración de agua a través de su estructura y así, el riego se lleve a cabo por gravedad. En estos se soportan y desarrollan las plantas.

Marco estructural

Consiste en un marco generalmente metálico que se fija firmemente a la pared o que puede sostenerse de forma independiente, y sirve de soporte estructural para los demás componentes de los muros verdes.

Recolección de agua

En la parte inferior y en toda la longitud de los muros verdes se debe colocar un canalón o recipiente (generalmente es metálico, pero puede ser de cerámica, plástico, madera recubierta, entre otros) que reciba los escurrimientos del riego. Estos se pueden conducir a un contenedor para integrarse al sistema de bombeo o para reutilizarse manualmente. De esta forma son reciclados como agua de riego.

Sistema de bombeo

En los sistemas de riego automatizados se instala un sistema de bombeo que permite la operación del riego y que recicla continuamente el agua. Ésta se debe restituir una vez se haya agotado. Generalmente el sistema de bombeo y las instalaciones necesarias para el riego se ubican en un espacio contenido y protegido dentro o fuera de la edificación.

Sistema de riego

Las líneas del sistema de riego en un muro verde se instalan de forma que el agua pueda fluir verticalmente por gravedad e ir irrigando toda el área del muro. Las líneas principales se colocan verticalmente y de éstas, las secundarias se ramifican horizontalmente a distancias uniformes (cada 1 - 1.5 metros). Así el agua fluye hacia abajo y va regando el jardín vertical.

Sistema de drenaje

Puede consistir en coladeras, tuberías perforadas ubicadas en el perímetro o canalones. Su función es la de drenar el agua fuera del techo una vez que el sistema se ha saturado.

Techumbre

Es el elemento que actúa como cubierta en una edificación, que tiene la capacidad de soportar un sistema que desarrolle vegetación y que permite un funcionamiento estructural adecuado.

La pendiente mínima debe ser de 2%. En casos de cubiertas inclinadas con pendientes entre 35 y 45% deberán colocarse protecciones contra deslizamientos, las cuales pueden ser: mallas tridimensionales, láminas con receptáculos, tableros o vigas perpendiculares a la pendiente, tirantes horizontales a la capa de sustrato, entre otros.

5.4.2. ¿Cómo Consultar las Fichas?

Técnica: Nombre de la Técnica.

Descripción. Se hace una descripción clara y sintética de la técnica que incluye aspectos de su funcionalidad y composición.

Beneficios. Enumera beneficios particulares de la técnica.

Consideraciones. Se mencionan limitantes y/o recomendaciones a considerar cuando se diseña y/o construye la técnica.

Componentes. Los componentes necesarios para el funcionamiento de las técnicas se enlistan en una tabla donde se especifica su necesidad (si es necesario u opcional), medidas (en caso de que existan mínimos), y observaciones generales.

Mantenimiento. Muestra un recuento de las operaciones básicas necesarias para mantener el funcionamiento de la técnica.

Fuentes adicionales de consulta. Se desglosan fuentes de información que ayuden a ampliar el conocimiento de la técnica.

Gráfico ilustrativo. Las técnicas se ilustran por medio de gráficos en tercera dimensión donde se pueden observar sus componentes básicos.

Detalle constructivo (Sistema CAD). Muestran las técnicas con detalles constructivos. En caso de requerirse, se puede acceder a estos detalles en formato DWG para su uso y modificación.

Proceso constructivo. Se desglosan los pasos principales específicos que se necesitan para la construcción de cada técnica.

5.4.3. Jardín Microcuenca

Canales vegetados, franjas de filtrado o contención, infiltration basin, bioswales, vegetated swales

Descripción

Son jardines con cavidades conformadas en el terreno para que alcancen un nivel inferior que el de las superficies adyacentes para captar agua de lluvia. Las microcuencas pueden construirse en espacios contenidos o extenderse longitudinalmente para formar canales o arroyos de retención e infiltración de agua pluvial.

Beneficios

- Es la técnica de más bajo costo. Cuando se lleva a cabo en obra vial nueva, el costo es equiparable al de construir arriates comunes.
- Son de fácil construcción y no requieren de conocimiento técnico especializado.
- Se pueden construir en prácticamente cualquier área permeable.
- Mediante el diseño adecuado de un conjunto de microcuencas se pueden crear juegos topográficos de atractivo paisajístico.

Consideraciones

- Cuando se cuenta con poco espacio y no existe drenaje pluvial, puede ser conveniente considerar otras alternativas que aporten mayor capacidad de captación.
- Esta técnica también es empleada para captar, aprovechar e infiltrar aguas grises, principalmente en aplicaciones domésticas. Típicamente cuando se usa de esta forma, se plantan árboles frutales para hacer un mejor uso de esta fuente abundante de agua.
- El fondo de la microcuenca no deberá de ser compactado ya que ello inhibirá una infiltración adecuada al subsuelo.
- El suelo resultante de la excavación se puede emplear para conformar un bordo alrededor de la microcuenca que ayudará a conducir y retener el agua.
- Los bordos deben de compactarse y se pueden cubrir con roca o con vegetación (cubresuelos por ejemplo) para evitar la erosión.

Componentes

Tabla 2. Componentes de Jardín Microcuenca

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Entradas de agua	Básico	Min. 40 cm en la base	Necesarias para el acceso del agua a las técnicas.
Filtro de sedimentos	Básico	Min. 30 cm de radio	Aseguran el funcionamiento a largo plazo.
Acolchado	Básico	Min. 5 cm	Necesario para reducir evaporación y mejorar las condiciones de la vegetación.
Microcuenca	Básico	Min. 10 cm de profundidad	Es básica para la captación de agua pluvial.
Desborde	Opcional	Corte en guarnición: 5 cm por debajo del nivel superior de guarnición Bordo: 10 cm bajo el nivel del margen	Cuando la técnica se encuentra en línea es necesario dotar de desborde. Cuando no, puede ser conveniente si se busca tener mayor control del flujo de desborde.
Bordo	Opcional	Min. 10 cm de altura sobre el nivel natural de terreno	Necesario cuando el jardín está junto a vialidades con estacionamiento en cordón, para reducir el riesgo de caer en la cuenca. Necesario en sistemas de múltiples microcuencas.
Superficies impermeables	Opcional	NA	Cuando existen, se busca aprovecharlas para incrementar el agua que fluye hacia la técnica. Cuando es obra nueva, se deben conformar para dirigir el flujo de agua hacia la microcuenca.

Mantenimiento

- Mantenimiento rutinario de áreas verdes como podas, deshierbe, riego los primeros 3 años en temporadas secas, entre otros.
- Limpieza periódica de entradas de agua; una vez cada tres meses.
- Limpieza de filtros de sedimentos; dos veces al año.

Fuentes adicionales de consulta

- Watershed Management Group 2012, Infraestructura Verde para Comunidades del Desierto, disponible en: http://www.harvestingrainwater.com/wp-content/uploads/2012/01/Infraestructura-Verde-Para-Comunidades-Del-Desierto-Sonorense.pdf
- Brad Lancaster 2006, Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond, Volume 1 Guiding Principles to Welcome Rain into Your Life and Landscape, disonible en: http://library.uniteddiversity.coop/Water_and_Sanitation/Rainwater_Harvesting_for_Drylands_and_Beyond_Volume_1.pdf
- Pima County 2015, Low Impact Development And Green Infrastructure Guidance Manual, disponible en: https://webcms.pima.gov/UserFiles/Servers/Server_6/File/Government/Flood%20Control/Floodplain%20Management/Low%20Impact%20Development/li-gi-manual-20150311.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 6. Gráfico ilustrativo de Jardín Microcuencas

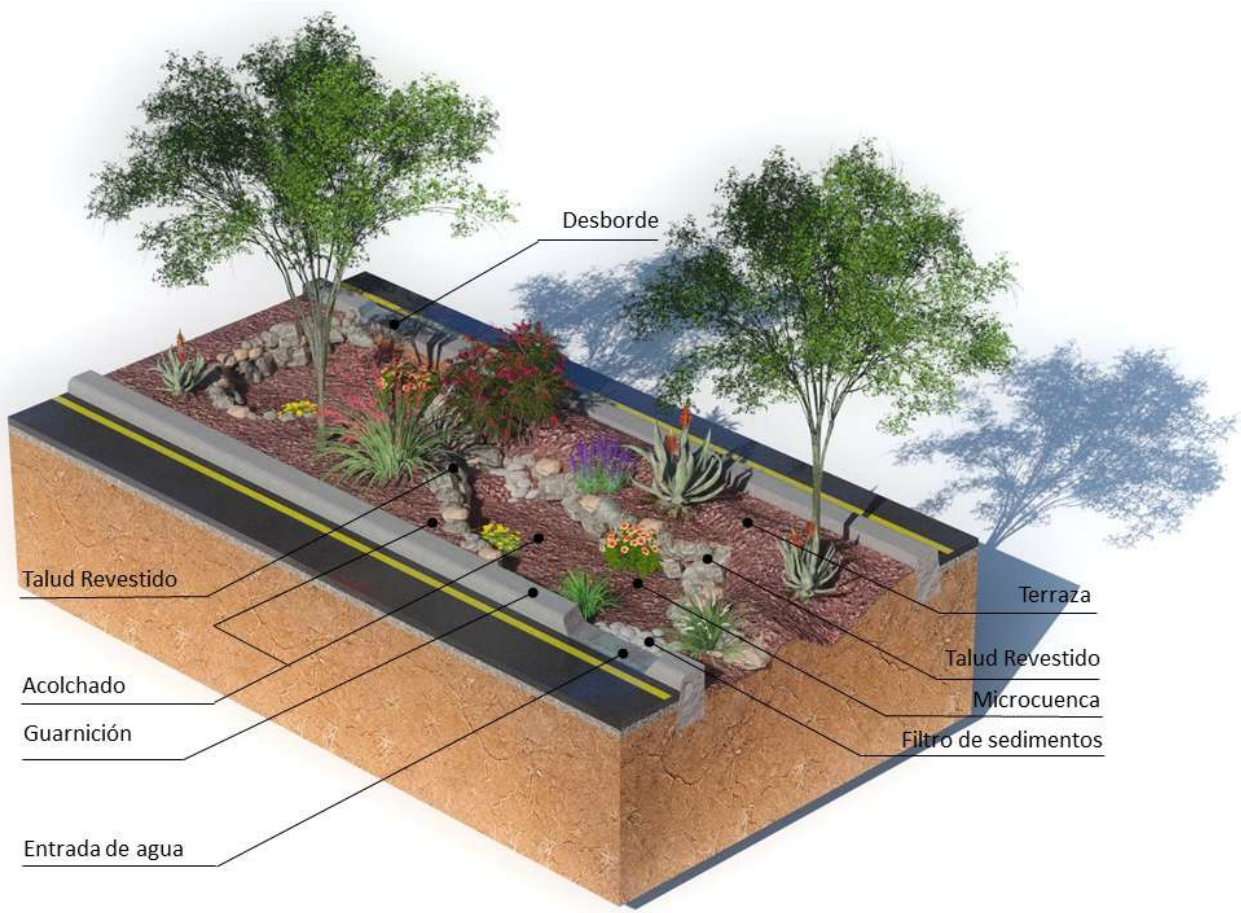
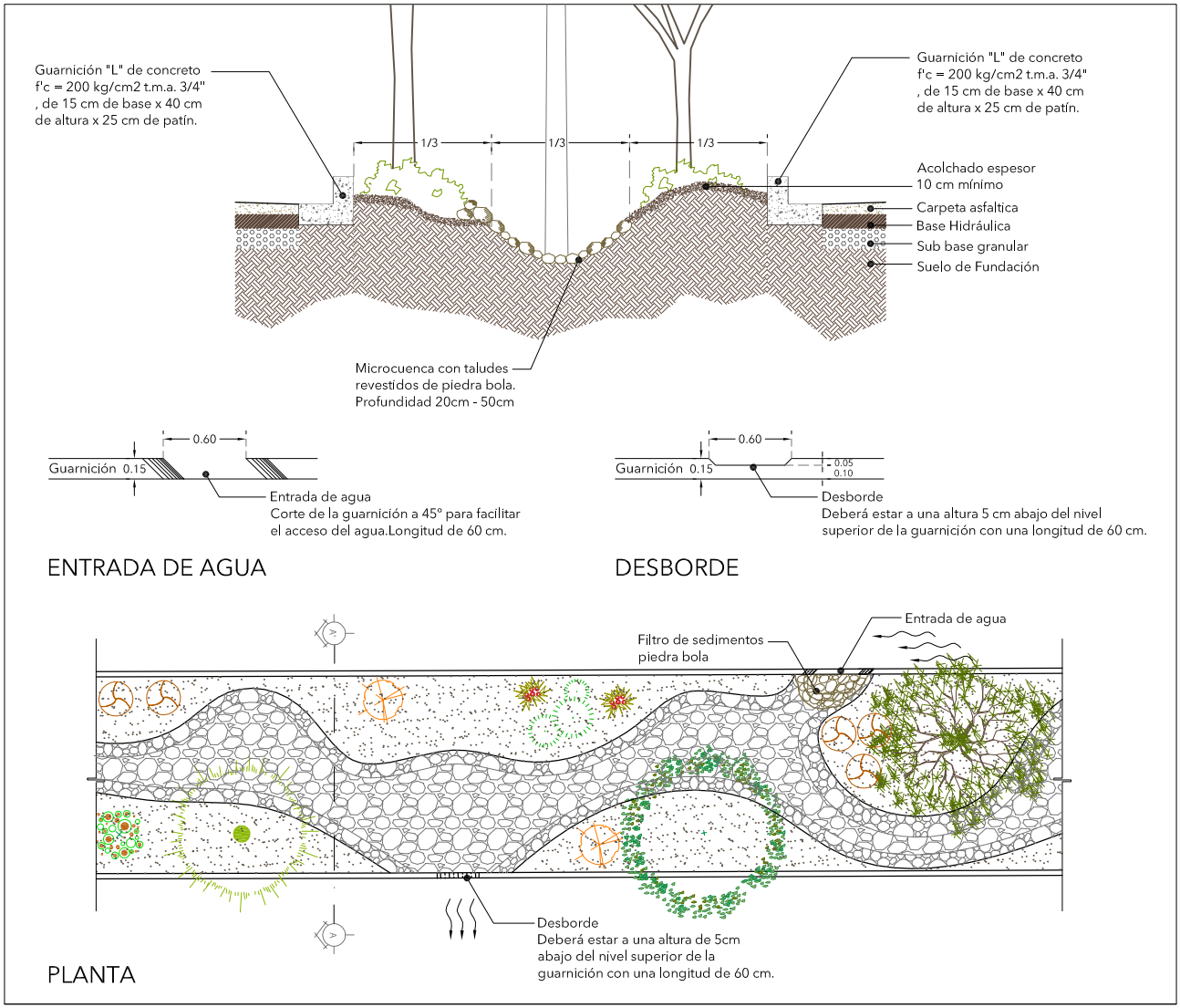


Figura 7. Detalles constructivos de Jardín Microcuencas



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Jardín microcuencas detalle en camellones		NO. DE PLANO: IV-01
		ESCALA: S/E	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal en el suelo y pintura para banquetas y guarnición).
2. Estimar infiltración, haciendo prueba de percolación (ver Anexo 1)
3. Excavación y conformación de microcuenca.
4. Conformación de bordo(s) y terraza(s).
5. Instalación de sistema de riego (opcional).
6. Recubrimiento de taludes con roca de mínimo 10 centímetros de diámetro.
7. Conformación del filtro(s) de sedimentos.
8. Plantación de vegetación y conformación de cajete.
9. Recubrimiento con acolchado.
10. Prueba de funcionamiento.

5.4.4. Jardín de Lluvia

Humedales de banqueta, biorretenedores, rain garden, bioswales, bioretention basins

Descripción

Son jardines con cavidades conformadas en el terreno con el objetivo de alcanzar un nivel inferior al de las superficies adyacentes y con ello captar agua de lluvia. Estos jardines tienen una capacidad de captación de agua pluvial mayor que la de un Jardín Microcuenca, esto se debe a que además de contar con microcuencas (o con un nivel general más bajo que las superficies adyacentes), cuentan con capas permeables en niveles inferiores. Además, cuando los suelos existentes son excavados, pueden tratarse para mejorar su estructura antes de ser restituidos, con lo que se incrementa aún más la capacidad de captación de agua. Llamados también Bioretenedores, cumplen la función de fijar contaminantes y por ende depurar el agua de lluvia. Esto se lleva a cabo a través de mecanismos físicos, químicos y biológicos una vez que el agua ha penetrado las capas superiores. Otra posibilidad que presentan estos sistemas, es la de instalar tuberías perforadas en las capas drenantes. Éstas permiten transportar el agua a otra locación o a un sistema de almacenamiento para su posterior aprovechamiento.

Esta técnica es recomendada en casos donde no se cuenta con drenaje pluvial y/o donde el espacio para I.V. es reducido. También se recomienda esta técnica cuando se busca recuperar agua con un alto nivel de calidad.

Beneficios

- Mayor capacidad de captación y mejoramiento en la calidad de agua antes de su infiltración.
- Puede ser dimensionado conforme a las posibilidades de implementación; entre accesos, áreas desarrolladas, postes, entre otros.
- Se puede desarrollar de forma modular con medidas estándares.
- Aportan una mejora a la imagen urbana.
- En arriates sirven de barrera entre los peatones y el arroyo vehicular.

Consideraciones

- Se debe considerar la conformación de un bordo contiguo a la guarnición para el descenso de automovilistas cuando se ubica junto a estacionamientos en cordón.
- La implementación de esta técnica está limitada por el ancho de banqueta, el cual debe albergar los jardines de lluvia y el espacio de tránsito peatonal. Se considera un mínimo de 0.80 metros de arriate y se recomienda un mínimo de 1.20 metros de espacio peatonal.

Componentes

Tabla 3. Componentes de Jardín de Lluvia

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Entradas de agua	Básico	Min. 40 cm en la base	Necesarias para el acceso del agua a las técnicas.
Filtro de sedimentos	Básico	Min. 30 cm de radio	Aseguran el funcionamiento a largo plazo al retener sedimentos y mantener la permeabilidad de la técnica.
Franja - Filtro	Básico	Min. 30 cm de grosor	Ayuda a retener sedimentos y evitar que fluyan fuera de la técnica.
Acolchado	Básico	Min. 5 cm	Necesario para reducir evaporación y mejorar las condiciones de la vegetación.
Microcuenca	Básico	Min. 10 cm de profundidad	Es básica para la captación de agua pluvial.
Capa de sustrato	Básico	30-70 cm	Necesaria para el desarrollo de vegetación. Cuando se plantan árboles el espesor debe ser mayor.
Capa drenante	Básico	40 - 90 cm	El espesor depende de las necesidades de captación y del tipo de suelo. A mayor percolación, menor espesor necesario.

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Barrera de suelo	Básico	Min. 2 mm de grosor	Se requiere para la funcionalidad a largo plazo de la técnica.
Capa impermeable	Opcional	Min. 1 mm de grosor	No es necesaria cuando se determina que no existe riesgo de afectación a estructuras colindantes.
Conducto infiltrante	Opcional	Min. 20 cm de diámetro	Conveniente para aumentar la velocidad y capacidad de infiltración de agua.
Desborde	Opcional	Guarnición: 10 cm por debajo del nivel superior de guarnición Bordo: 10 cm bajo el nivel del margen	Cuando la técnica se encuentra en línea es necesario dotar de desborde. Cuando no, puede ser conveniente si se busca tener mayor control del flujo de desborde, mas no es necesario.
Bordo	Opcional	Min. 10 cm de altura sobre el nivel	Necesario cuando el jardín está junto a vialidades con estacionamiento en cordón, para reducir el riesgo de caer en la cuenca. Necesario en sistemas de múltiples microcuencas.
Superficies impermeables	Opcional	NA	Cuando existen, se busca aprovecharlas para incrementar el agua que fluye hacia la técnica. Cuando es obra nueva, se deben conformar para dirigir el flujo de agua hacia la microcuenca.
Tubería perforada	Opcional	Min. 7.5 cm de diámetro	A utilizarse cuando se busque recuperar y aprovechar agua de lluvia.
Pozo de observación	Opcional	Min. 5 cm de diámetro y largo de la profundidad max. de la técnica	Son necesarios en caso de establecerse un programa de monitoreo.

Mantenimiento

- Mantenimiento rutinario de jardines como podas, deshierbe, riego los primeros tres años en temporadas secas, entre otros.
- Limpieza periódica de entradas de agua; antes y después de la temporada de lluvias.
- Limpieza de filtros de sedimentos; dos veces al año.

Fuentes adicionales de consulta

- Pima County 2015, Low Impact Development And Green Infrastructure Guidance Manual, disponible en: https://webcms.pima.gov/UserFiles/Servers/Server_6/File/Government/Flood%20Control/Floodplain%20Management/Low%20Impact%20Development/li-gi-manual-20150311.pdf
- City of Philadelphia 2014, City of Philadelphia Green Streets Design Manual, disponible en: http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf
- New York State 2010, Stormwater Management Design Manual, disponible en: http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/swdm2015entire.pdf

Figura 8. Gráfico ilustrativo de Jardín de Lluvia

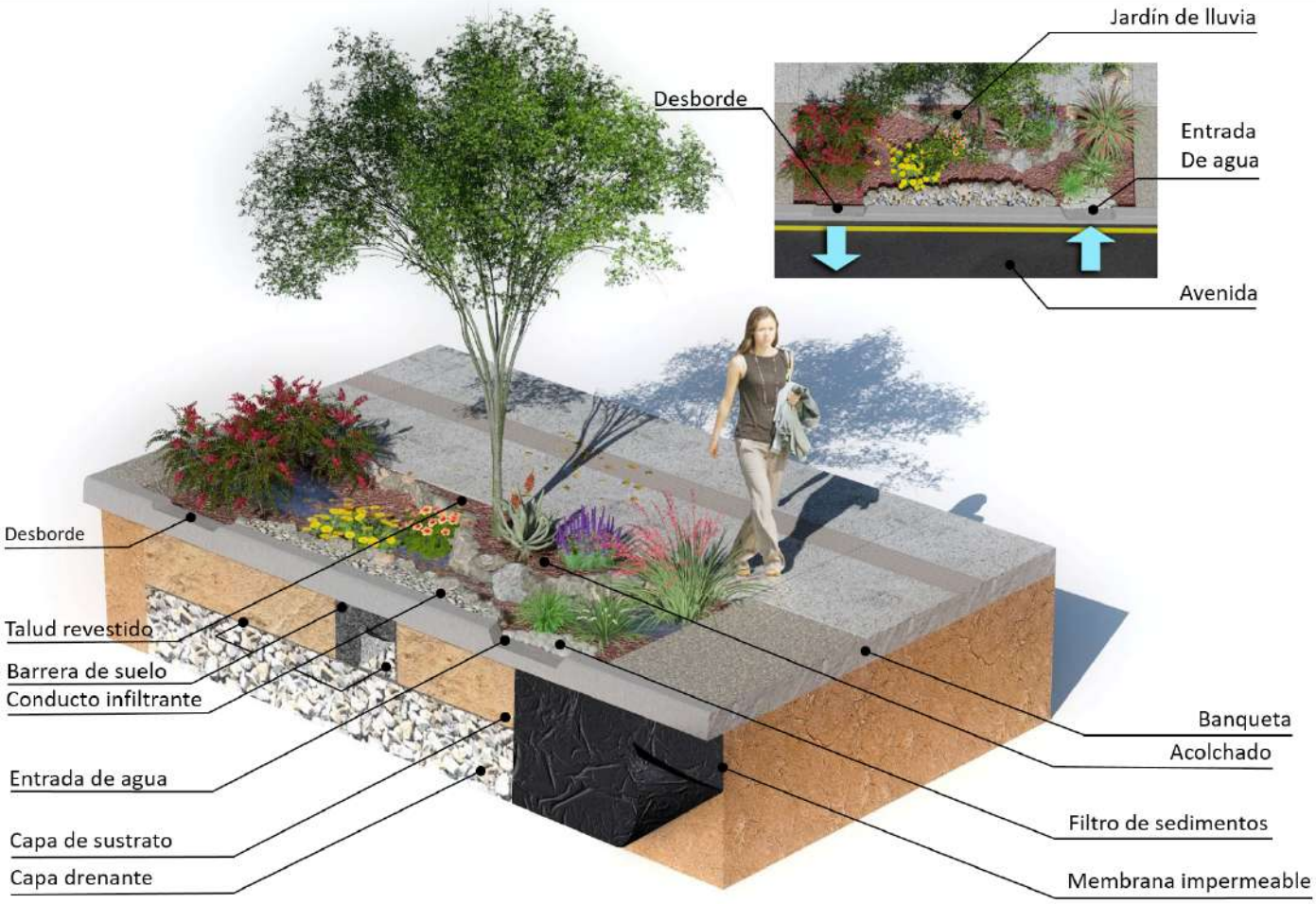
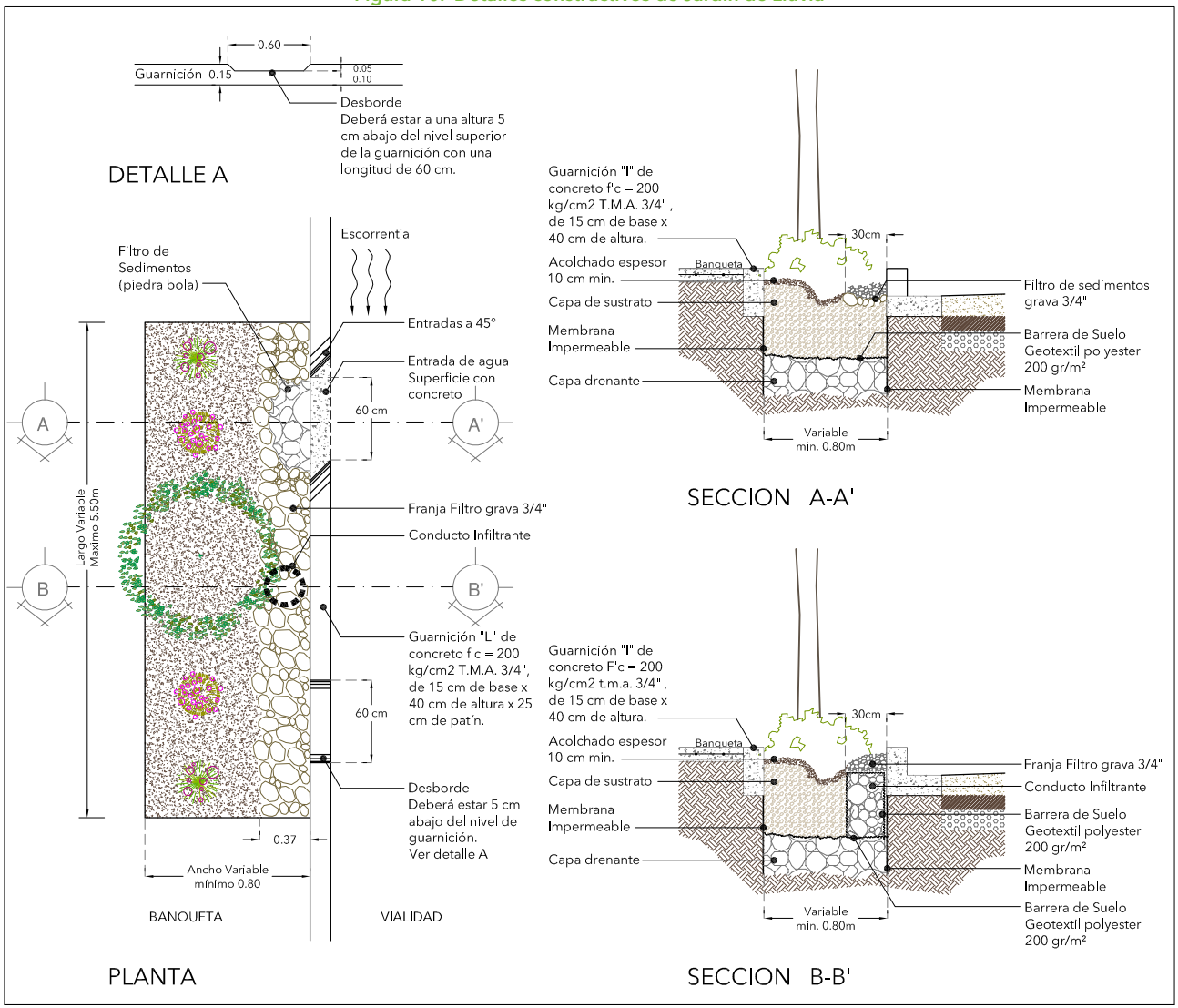


Gráfico ilustrativo

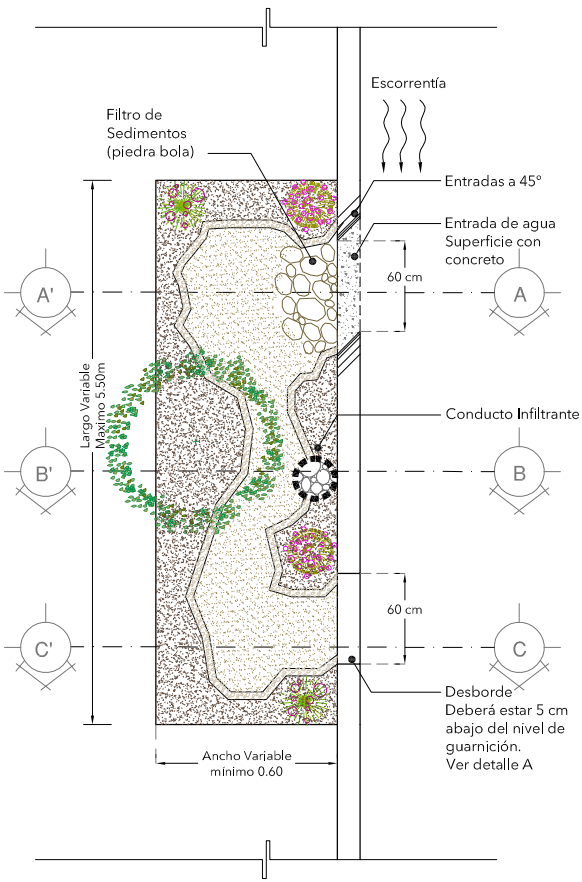
Figura 9. Gráfico ilustrativo de Jardín de Lluvia calle con estacionamiento en cordón



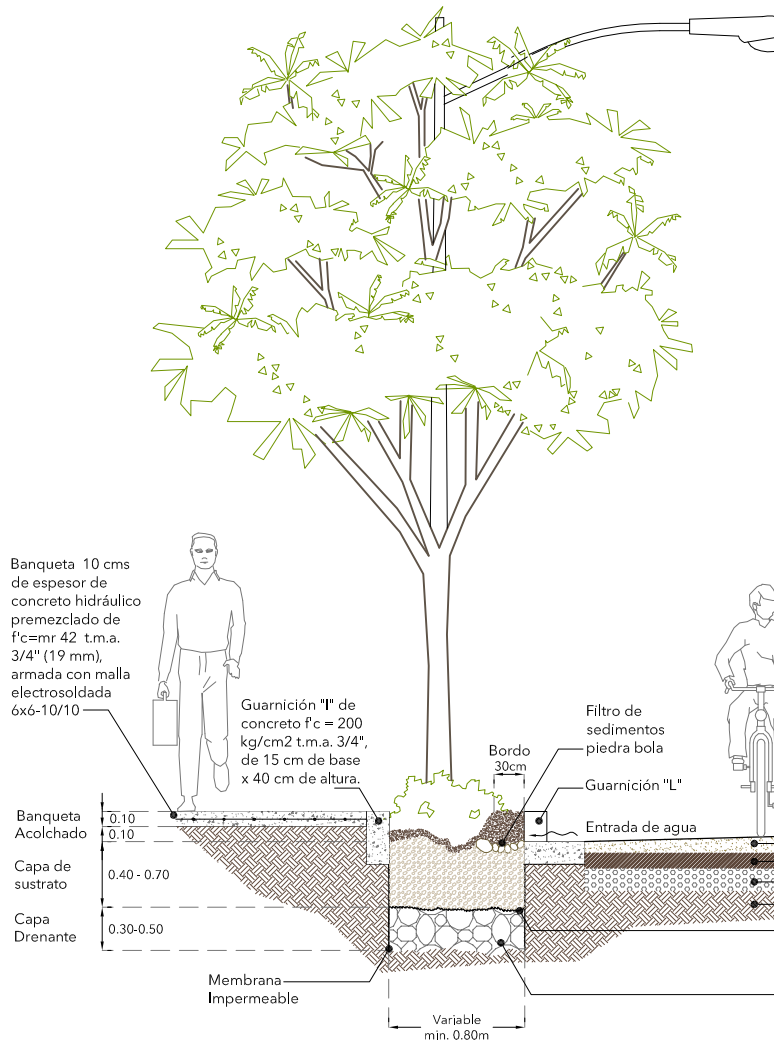
Figura 10. Detalles constructivos de Jardín de Lluvia



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Jardín de lluvia	NO. DE PLANO: IV-03
		ESCALA: 1:50 / ACOTACION: Metros / FECHA: Dic 2016	

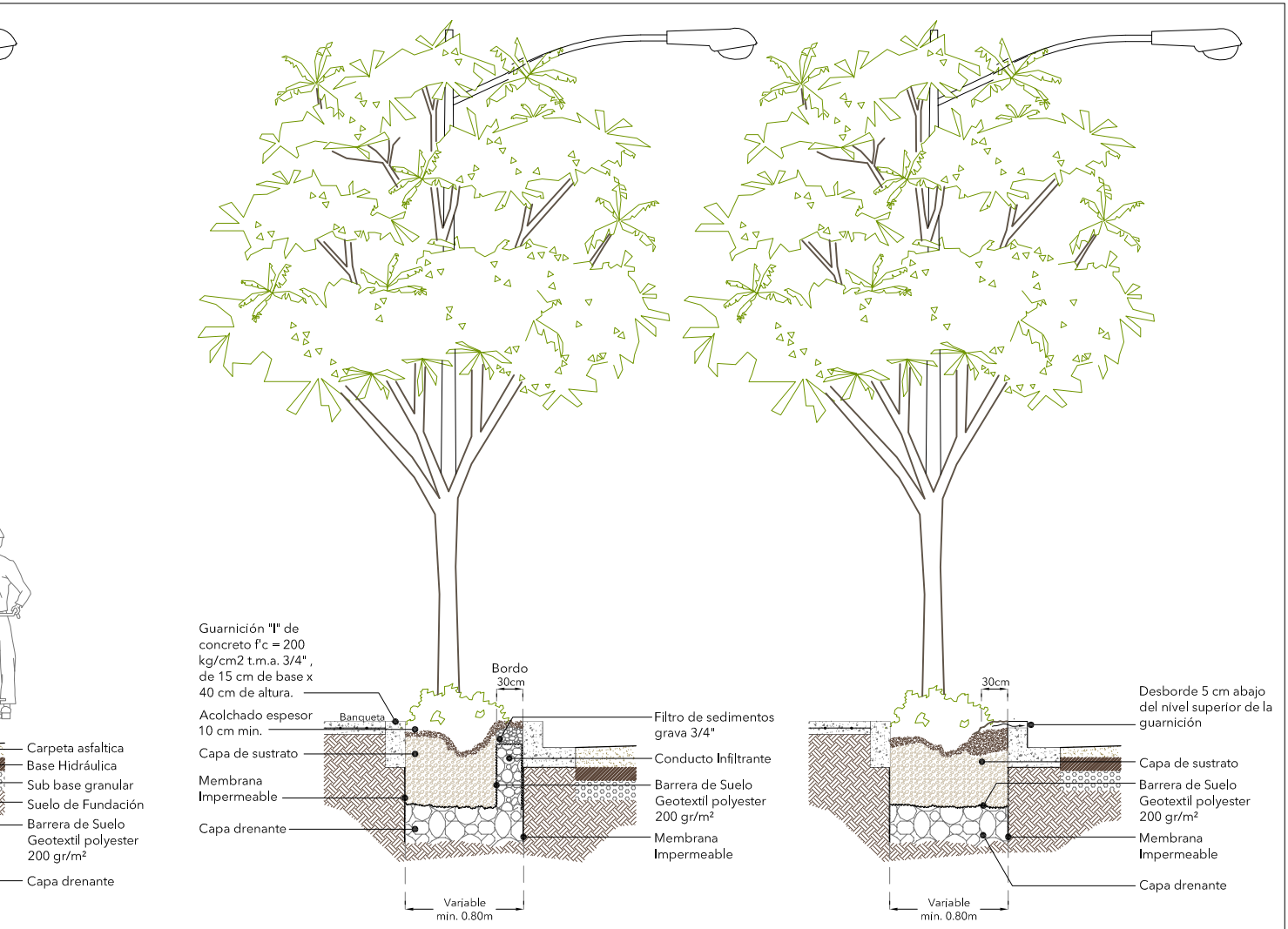


PLANTA



SECCION A-A'

Detalle Constructivo



SECCION B-B'

SECCION C-C'

	CONTENIDO: Jardín de lluvia calle con estacionamiento en cordón		NO. DE PLANO: IV-02
	ESCALA: 1:50	ACOTACIÓN: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal en el suelo y pintura para banquetas y guarnición).
2. Estimar infiltración, haciendo prueba de percolación (ver Anexo 1)
3. Excavación.
4. Instalación de Membrana impermeable en los lados que sea necesario.
5. Ubicación e instalación de pozo de observación (cuando sea el caso).
6. Conformación de la capa drenante.
7. Instalación de tubería perforada (cuando sea el caso).
8. Instalación de barrera de suelo.
9. Conformación e instalación de conducto infiltrante.
10. Conformación de capa de sustrato.
11. Conformación de microcuenca.
12. Conformación de bordo(s) y terraza(s) (cuando sea el caso).
13. Recubrimiento de taludes con roca de mínimo 10 centímetros de diámetro.
14. Conformación de filtro(s) de sedimentos.
15. Conformación de franja-filtro (cuando sea el caso).
16. Plantación de vegetación y conformación de cajete para cada planta.
17. Recubrimiento con acolchado.
18. Prueba de funcionamiento.

5.4.5. Pozo de Infiltración

Pozo de absorción, infiltration well, dry well

Descripción

Consisten en excavaciones de forma tronco piramidal, cilíndrica o cuadrada-rectangular que tienen la función de aumentar y acelerar la infiltración de agua pluvial al subsuelo. El agua se infiltra por paredes y piso permeables. La apertura de estos pozos se recomienda con un diámetro mínimo de un metro y una profundidad entre uno y 6 metros.

Estos pozos pueden construirse con muros de mampostería compuestos de ladrillo, bloques de piedra o de concreto, dispuestos de forma que presenten orificios para permitir la infiltración de agua, o bien de concreto precolado ó fabricado en obra, con características de permeabilidad a base de orificios en su estructura. En este caso, los pozos se conforman como estructuras huecas. Otra técnica constructiva, es la que se ejecuta como excavaciones sin revestimiento, en cuyo caso se requiere rellenarlos con materiales que les confieran una alta permeabilidad mientras contribuyen a mantener la estabilidad estructural de las paredes.

Beneficios

- No ocupan espacio superficial.
- Se pueden utilizar para penetrar capas de suelo impermeables.

Consideraciones

- Las distancias mínimas del pozo a viviendas, tuberías de agua, pozos de abastecimiento y cuerpos de agua son de 3, 15, 30 y 15 metros respectivamente.
- El fondo del pozo debe quedar mínimo a dos metros por encima del nivel freático de las aguas subterráneas.
- Este sistema puede ser construido en cualquier tipo de suelo, pero es mejor si se aprovecha en suelos tipo arenosos-rocosos.

Componentes

Tabla 4. Componentes de Pozo de Infiltración

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Muros de Mampostería			
Entradas de agua	Básico	Rendijas en cubierta min. 30 x 30 cm	Necesarias para el acceso del agua a las técnicas. Pueden disponerse en la cubierta o ser rendijas colocadas en otro sitio con un acceso de tubería hasta el pozo.
Muros	Básico	Min. 10 cm de grosor	Son necesarios para contener las cargas del suelo circundante.
Capa drenante	Básico	1) Filtro perimetral min. 20 cm de espesor 2) Base del pozo min. 30 cm de espesor	Son utiles para dispersar el agua a través de toda la profundidad del pozo, mejorando la infiltración.
Cubierta	Básico	Losa de 15 cm con tapa de inspección de 60 x 60 cm	Es necesario para tener acceso y llevar a cabo acciones de mantenimiento.
Filtro de sedimentos	Opcional	Caja de concreto rellena de grava (2.5 cm) de min. 60 x 60 cm	Aseguran el funcionamiento a largo plazo. Se colocan enterrados después de la entrada de agua o justo antes del acceso al pozo.
Sin revestimiento			
Entradas de agua	Básico	Toda el área superficial del pozo	Necesarias para el acceso del agua a las técnicas. Las capas de grava pueden estar expuestas o se pueden colocar adoquines o piezas de pavimento sin colar.
Capa drenante	Básico	1) 5 cm capa de arena gruesa 2) 50% agregados gruesos de min. 15 cm 3) 25% grava de 2 - 5 cm 4) 25% gravilla de max. 1.5 cm	Son útiles para dispersar el agua a través de toda la profundidad del pozo, mejorando la infiltración.
Capa impermeable	Opcional	Min. 1 mm de grosor	No es necesaria cuando se determina que no existe riesgo de afectación a estructuras colindantes.

Mantenimiento

- Requieren de inspecciones periódicas (una cada seis meses) para evitar posibles obstrucciones.
- Es necesario limpiarlos en caso de obstrucciones por sedimentos o materiales.
- Una vez cada cuatro años, se recomienda retirar y limpiar los materiales de la capa drenante.

Fuentes adicionales de consulta

- City of Philadelphia 2014, City of Philadelphia Green Streets Design Manual, disponible en: http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf
- Comisión Nacional del Agua 2007, Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, disponible en: ftp://ftp.conagua.gob.mx/Mapas/libros%20pdf%202007/Saneamiento%20rural.pdf
- Hágalo Usted Mismo, ¿Cómo hacer un pozo de absorción?, disponible en: http://www.hagaloustedmismo.cl/data/pdf/fichas/pa-is36_como%20hacer%20un%20pozo%20de%20absorcion.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 12. **Gráfico ilustrativo de Pozo de Infiltración con muros de mampostería**

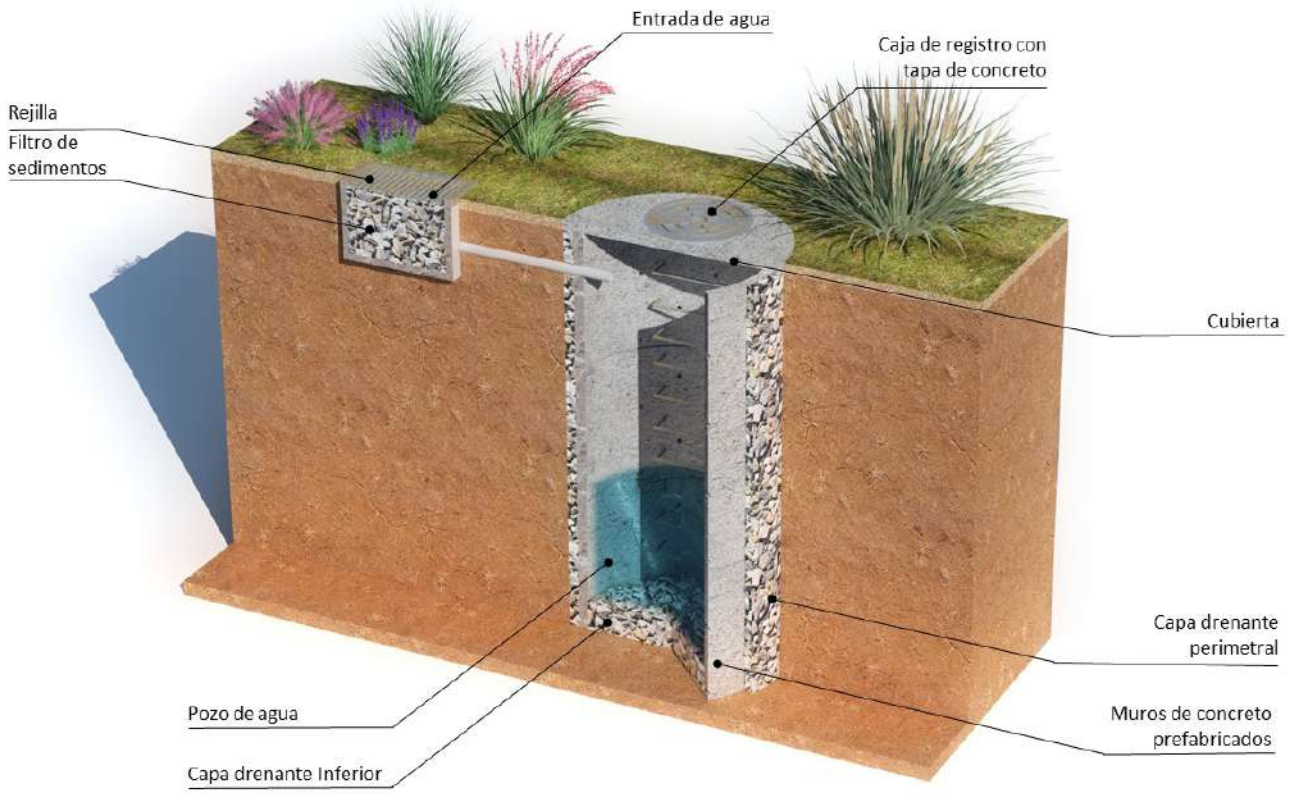
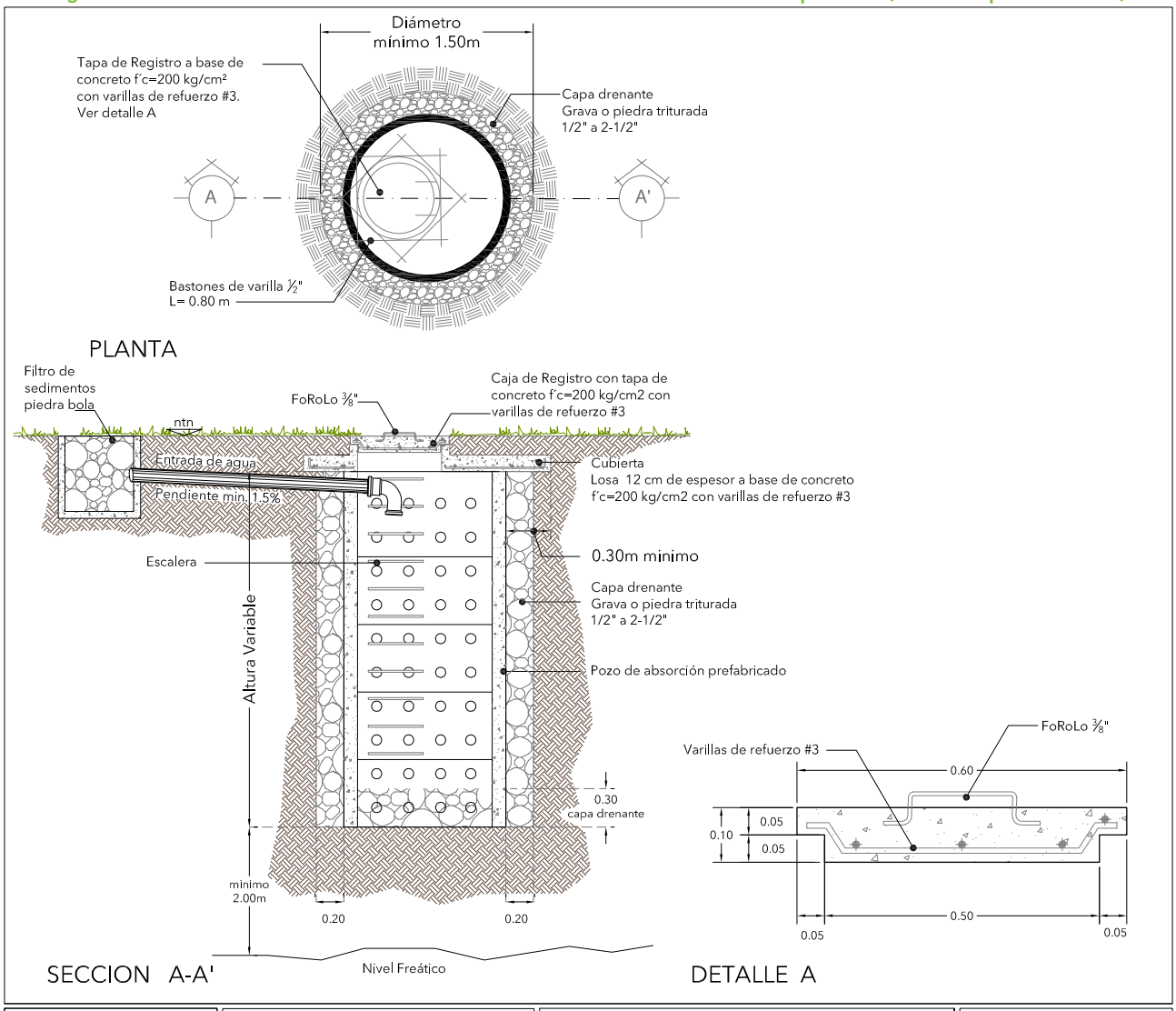


Figura 13. Gráfico ilustrativo de Pozo de Infiltración sin revestimiento

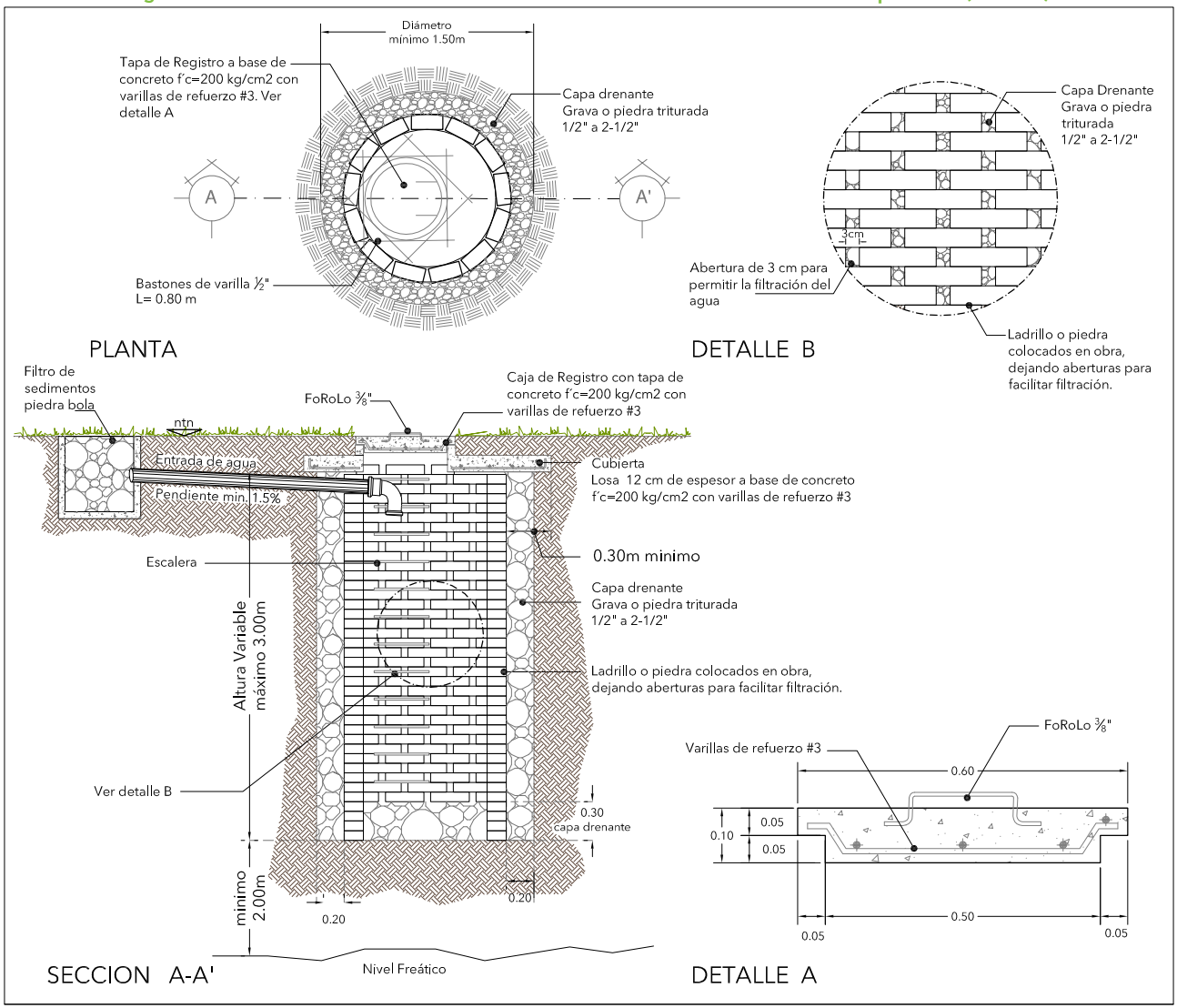


Figura 14. **Detalles constructivos de Pozo de Infiltración con muros de mampostería (concreto prefabricado)**



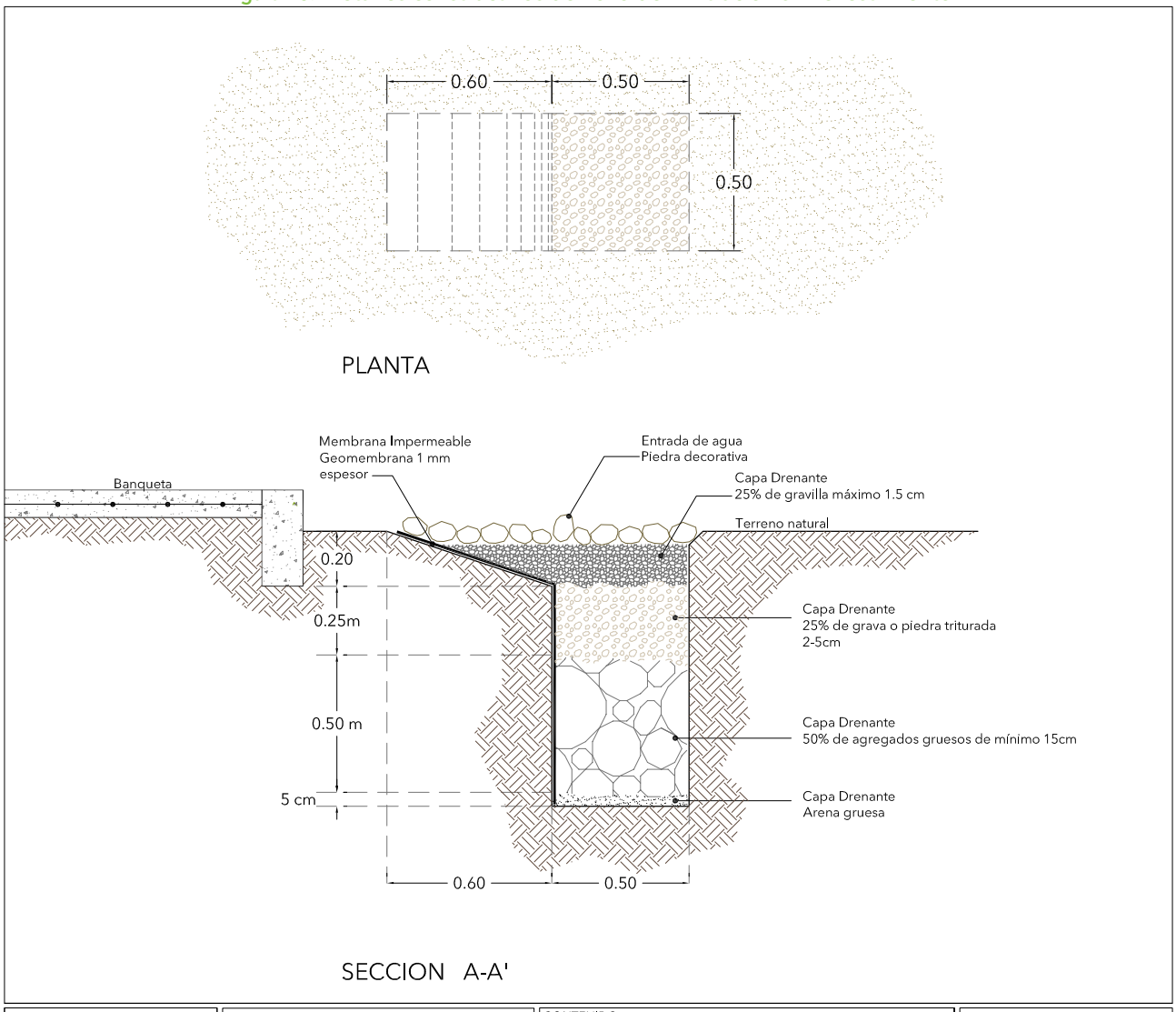
	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Pozo de infiltración con muros de mampostería concreto		NO. DE PLANO: IV-07
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Figura 15. **Detalles constructivos de Pozo de Infiltración con muros de mampostería (ladrillo)**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Pozo de infiltración con muros de mampostería ladrillo		NO. DE PLANO: IV-08
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Figura 16. Detalles constructivos de Pozo de Infiltración sin revestimiento



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Pozo de infiltración sin revestimiento		NO. DE PLANO: IV-09
		ESCALA: 1:25	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo con muros de mampostería

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal en el suelo y pintura en pavimentos).
2. Estimar infiltración, haciendo prueba de percolación (ver Anexo 1)
3. Conformación de capa drenante en la base.
4. Construcción/instalación de muros.
5. Conformación de la capa drenante perimetral.
6. Construcción de entrada(s) de agua y filtro de sedimento.
7. Construcción/instalación de cubierta.
8. Prueba de funcionamiento.

Proceso constructivo sin revestimiento

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal en el suelo y pintura en pavimentos).
2. Excavación.
3. Instalación de Membrana impermeable en los lados que sea necesario.
4. Conformación de la capa drenante en el siguiente orden:
   - a. Capa de arena gruesa.
   - b. Capa de agregados gruesos.
   - c. Capa de grava.
   - d. Capa de gravilla.
5. Conformación de entrada de agua.
6. Prueba de funcionamiento.

5.4.6. Zanja-Bordo

Berm and basin, swales on-contour, swales off-contour

Descripción

Esta técnica se compone de una microcuenca lineal o zanja acompañada de un bordo situado pendiente abajo a ésta. Es generalmente empleada en laderas de lomeríos o cerros, pero puede utilizarse en cualquier terreno con pendiente.

Se construye haciendo una excavación extendida longitudinalmente (mínimo 40 centímetros de ancho y 15 centímetros de profundidad) que puede seguir las líneas de elevación o que puede estar ligeramente desfasada de éstas para conducir el flujo de agua hacia abajo pero con menor velocidad. Al tiempo que se va excavando, se va conformando el bordo pendiente abajo utilizando el suelo local.

También pueden ser estructuras conformadas por bordos y microcuencas dispuestas en formas semicirculares y diseñadas para captar y retener volúmenes de aguas pluviales de baja a moderada velocidad. Esta técnica puede construirse en forma de aterrazado, donde el papel de la microcuenca puede no ser tan relevante siempre y cuando se conformen bordos con suficiente altura en cada una de las terrazas.

Para su construcción, es recomendable determinar el volumen de almacenamiento necesario tomando en cuenta el área de la cuenca hidrológica ubicada aguas arriba, lo cual ayuda a estimar el volumen de agua que escurrirá desde la cuenca (Ver ANEXO 1). Deben ser diseñadas de tal manera que puedan infiltrar la totalidad del escurrimiento pluvial en máximo 24 horas.

Beneficios

- Fácil construcción y operación.
- Sistema económico.
- Los bordos pueden servir como senderos o caminos.
- Útiles en programas de restauración de laderas y cañadas.

Consideraciones

- Es recomendable la construcción de múltiples sistemas de cuenca-bordo que capten el agua de los escurrimientos pluviales en lugar de uno de gran dimensión.
- Esta técnica también puede ser empleada en cuencas de tamaño pequeño a mediano con pendientes moderadas, como parques, espacios abiertos, camellones, entre otras.
- Es recomendable plantar vegetación tanto en la cuenca (ayudando a la infiltración) como en el borde (evitando la erosión).
- La cima del bordo debe de estar nivelada uniformemente a excepción del desborde, que se encuentra a un nivel más bajo.
- Los bordos deberán de tener un ancho mínimo de 60 centímetros y durante su construcción se deberán compactar para garantizar su resistencia.
- Los desbordes deberán de tener una ligera depresión en su centro para evitar la tendencia del agua a erosionar los bordes exteriores de los mismos.
- En la construcción del desborde, deberá continuarse el recubrimiento con roca, mínimo 50 centímetros pendiente abajo para absorber el impacto generado por el flujo de agua.

Componentes

Tabla 5. Componentes de Zanja-Bordo

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Área de captación	Básico	Variable	Se refiere al área que recibe la precipitación a partir de la cual escurrirá por gravedad hacia el bordo.
Microcuencas	Básico	Ancho min. 50 cm	Es aquí donde se concentran las escorrentías pluviales.
Bordos	Básico	Altura máx. 1.00 m	Actúan como barrera de contención para el agua de las escorrentías.
Desborde	Básico	Ancho mín. 60 cm Min. 10 cm por debajo del margen del bordo	Necesario para absorber el impacto de las escorrentías y verter el exceso de agua mientras se retienen sedimentos.
Acolchado	Opcional	Min. 5 cm	Necesario para reducir evaporación y mejorar las condiciones de la vegetación.

Mantenimiento

- Inspeccionar los bordos y vertedores después de cualquier precipitación intensa, en búsqueda de erosiones en su estructura o bien, si se presenta algún remanso de agua por más de 24 horas.
- Restaurar la estructura en caso de erosión.
- Limpiar el desborde mínimo una vez al año.
- Limpiar el fondo de la microcuenca, ya que es común que éste se llene de sedimentos, lo que reduce la capacidad de almacenamiento.

Fuentes adicionales de consulta

- City of Tucson 2005, Water Harvesting Guidance Manual, disponible en: https://www.tucsonaz.gov/files/transportation/2006WaterHarvesting.pdf
- Brad Lancaster 2006, Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond, Volume 1 Guiding Principles to Welcome Rain into Your Life and Landscape, disonible en: http://library.uniteddiversity.coop/Water_and_Sanitation/Rainwater_Harvesting_for_Drylands_and_Beyond_Volume_1.pdf
- Government of India, Model designs for Rain Water Harvesting and Artificial Recharge, disponible en: http://www.wrmin.nic.in/writereaddata/ModelDesignsforRainWaterHarvesting.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 17. **Gráfico ilustrativo de Zanja-Bordo**

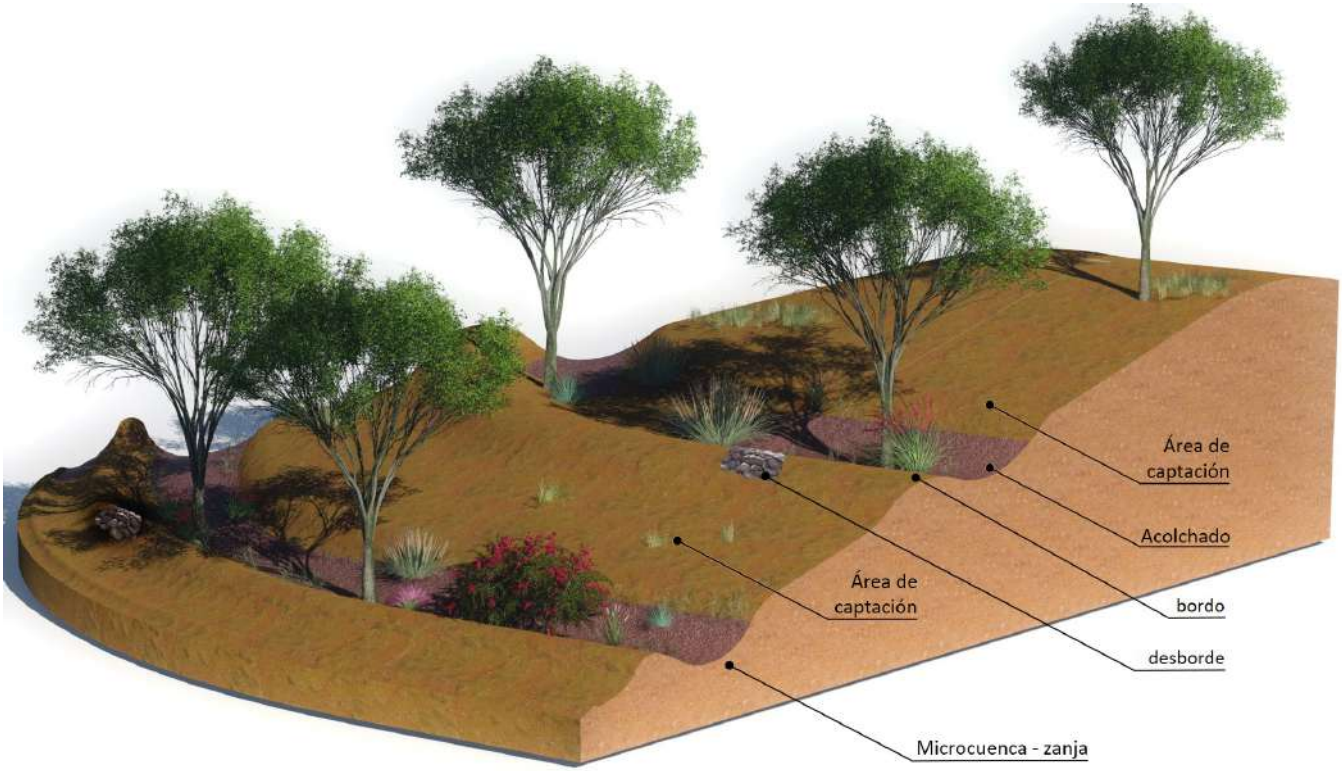
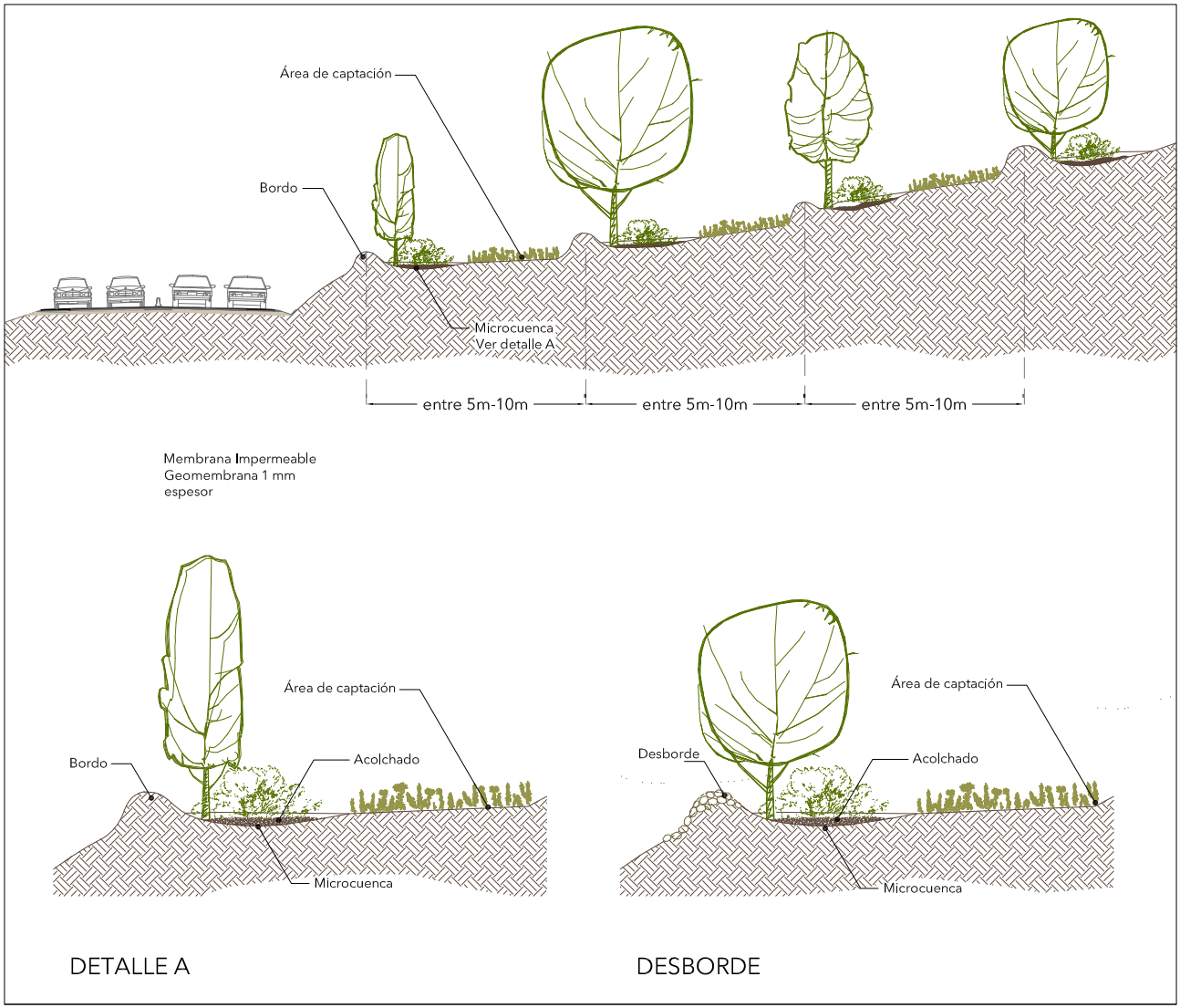


Figura 18. **Detalles constructivos de Zanja-Bordo**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Zanja Bordo		NO. DE PLANO: IV-04
		ESCALA: 1:25	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal).
2. Estimar infiltración, haciendo prueba de percolación (ver Anexo 1)
3. Conformación de bordo(s).
4. Construcción de desborde(s).
5. Plantación de vegetación y conformación de cajete para cada planta.
6. Recubrimiento de la microcuenca con acolchado.
7. Prueba de funcionamiento.

5.4.7. Drenaje Francés

Zanja de infiltración, infiltration trench, dry well, french drain

Descripción

Consiste en una zanja rellena de rocas que está diseñada para permitir la infiltración de agua pluvial a través de sus lados, fondo y extremos. También puede servir para colectar y conducir el agua de un punto a otro, llevándose a cabo infiltración durante su transporte.

Se construyen haciendo una excavación lineal (mínimo 30 centímetros de ancho por 40 centímetros de profundidad) que se rellena con una capa drenante, la cual debe estar envuelta por una barrera de suelo (generalmente de geotextil) para asegurar su funcionalidad a largo plazo. Por estar relleno de rocas, un drenaje francés tiene una captación de agua del 40% del volumen total de la capa drenante. Sin embargo, se puede equipar de una tubería perforada para aumentar la capacidad de captación y/o para mejorar el flujo cuando se busca conducir agua. Los drenajes franceses son usados típicamente en terrenos con pendiente máxima del 20%.

Beneficios

- Son útiles para proteger de humedad a edificaciones.
- Se pueden emplear para transportar agua entre técnicas (por ejemplo entre dos jardines de lluvia), o para permitir el acceso de agua hacia las técnicas (por ejemplo bajo banquetas para permitir que el agua fluya de calle a jardines o arriates).
- Cuando se tiene espacio limitado, pueden ayudar a extender la capacidad de captación de otras técnicas (por ejemplo usadas bajo áreas pavimentadas para conectar jardines de lluvia).
- Se pueden diseñar para no ocupar área superficial o para ocupar un área muy reducida.

Consideraciones

- En construcciones colocarse a mínimo 1.5 metros de separación de los cimientos.
- Este sistema puede ser construido en cualquier tipo de suelo, pero es mejor si se aprovecha en suelos tipo arenosos-rocosos.
- Se deberá evitar instalar el sistema en lugares con pendientes mayores al 20%.
- Es recomendable escarificar el fondo de la zanja para mejorar la capacidad de infiltración al subsuelo.
- Es importante realizar una prueba de percolación (Ver Anexo 1) del sitio antes de optar por este sistema, ya que requiere de una tasa de infiltración de mínimo 1.3 centímetros por hora.
- Es recomendable que el terreno sobre el drenaje francés cuente con una ligera depresión para ayudar a concentrar el agua de lluvia.

Componentes

Tabla 6. Componentes de Drenaje Francés

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Capa drenante	Básico	Ancho min. 30 cm. Profundidad min. 40 cm	No se ubique a menos de 1.5 metros de cualquier cimentación. Preferentemente utilizar roca redondeada, que permite mayor almacenaje de agua.
Barrera de suelo	Básico	Min. 2 mm de grosor	Previene la migración de finos del suelo hacia la capa drenante.
Membrana impermeable	Opcional	Misma altura que la profundidad de la zanja	Necesario cuando existen estructuras que pueden estar en riesgo. Se coloca en los lados del drenaje que puede estar en contacto con la estructura en riesgo.
Tubería perforada	Opcional	Diámetro min. 10 cm	Puede usarse para dispersar el agua pluvial en la capa drenante, para colectar y/o para conducir agua.

Mantenimiento

- Verificar una vez al año que el drenaje francés esté libre de sedimentos en su capa drenante mediante pruebas de percolación a cada seis metros. Haciendo una comparativa con la primer prueba de funcionamiento, si se detecta una disminución de mínimo 30% en el índice de percolación, se deberá remover la capa drenante, limpiarse y restituirse.
- En caso de contar con tubería perforada, verificar una vez al año que ésta no se encuentre obstruida por raíces o algún otro obstáculo.

Fuentes adicionales de consulta

- City of Tucson 2005, Water Harvesting Guidance Manual, disponible en: https://www.tucsonaz.gov/files/transportation/2006WaterHarvesting.pdf
- NDS Water Management 2007, Principles of Exterior Drainage, disponible en: http://www.ndspro.com/media/wysiwyg/files/principles-of-exterior-drainage.pdf
- Wyoming Department of Environmental Quality 2013, Urban Best Management Practice Manual, disponible en: http://deq.wyoming.gov/media/attachments/Water%20Quality/Nonpoint%20Source/Reports%20%26%20Documents/2013_wqd-wpp-Nonpoint-Source_Urban-Best-Management-Practice-Manual.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 19. Gráfico ilustrativo de Drenaje Francés

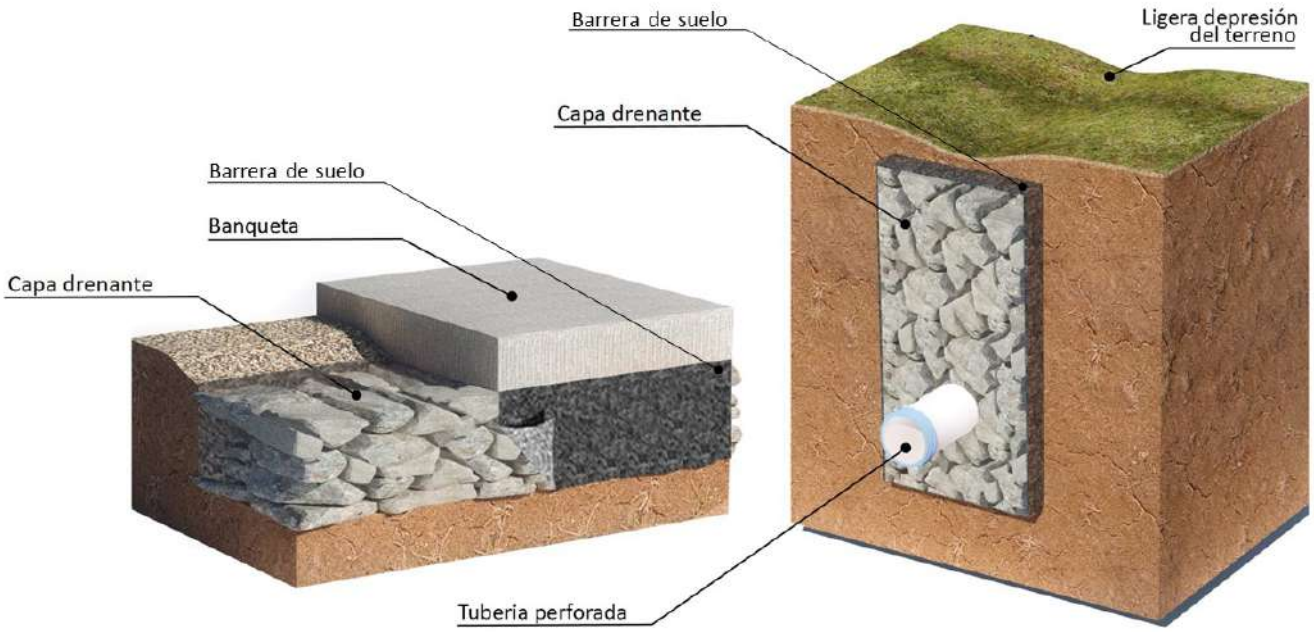
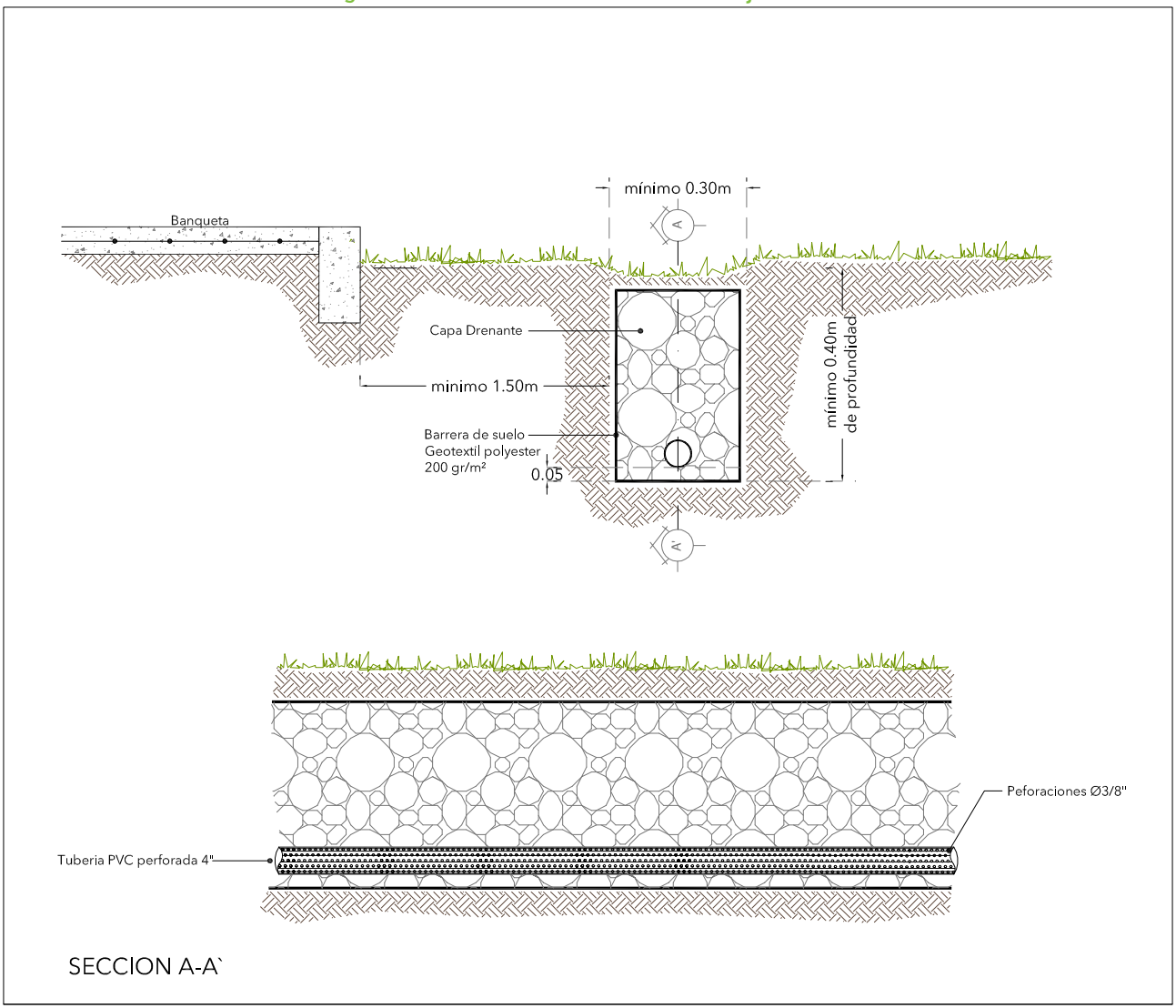


Figura 20. **Detalles constructivos de Drenaje Francés**



Proceso constructivo

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal en el suelo y pintura en pavimentos).
2. Estimar infiltración, haciendo prueba de percolación (ver Anexo 1)
3. Instalación de Membrana impermeable en los lados que sea necesario.
4. Instalación de la barrera de suelo para envolver la capa drenante.
5. Conformación de la capa drenante.
6. Instalación de tubería perforada (cuando sea el caso).
7. Prueba de funcionamiento.

5.4.8. Pavimentos Permeables

Permeable paving, permeable pavers, pervious pavement

Descripción

Son pavimentos compuestos por materiales porosos que permiten el paso del agua a través de su estructura a la vez que ofrecen el mismo soporte estructural que los pavimentos tradicionales. De esta forma el agua puede infiltrarse en el suelo, irrigando pasivamente la vegetación adyacente y reduciendo el volumen de escorrentías. Pueden estar construidos a base de concreto asfáltico o concreto hidráulico. También los hay modulares y de adoquín.

Un pavimento poroso funciona de forma sencilla, el agua penetra en la estructura porosa del pavimento y se infiltra gradualmente en una cama bien graduada de grava que aporta espacio de almacenamiento.

Los pavimentos permeables de tipo asfáltico están formados por una capa de mezcla bituminosa de asfalto en pequeñas cantidades y agregados de tamaño grueso uniformemente graduados, reforzados con fibras de polímeros para contrarrestar la pérdida de vacíos.

Los pavimentos permeables en concreto consisten en una mezcla de agregados gruesos uniformemente graduados con una relación agua-cemento baja para permitir un mayor volumen de vacíos y con ello lograr mayor capacidad de retención de agua.

Los pavimentos permeables a base de adoquín u otros materiales permiten la filtración del agua a través de sus juntas, siendo ideales para utilizarse en estacionamientos o cruces de calles debido a la baja resistencia de carga de estos materiales.

Es recomendable colocar pozos de absorción a cada 50 metros para mejorar la infiltración de agua y asegurar la estabilidad de la estructura de pavimento.

Beneficios

- Permiten el tránsito peatonal y/o vehicular en el área que ocupan.
- Pueden ser más estéticos que los pavimentos tradicionales.
- Reducen el acuaplaneo y mejoran la adherencia.

Componentes

Tabla 7. Componentes de Pavimentos Permeables

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Superficie de rodamiento a base de concreto asfáltico o hidráulico permeable	Básico	5 – 7 cm de espesor para pavimentos asfálticos porosos.	Mezcla asfáltica permeable ó porosa que permite el paso del agua.
		15 – 20 cm de espesor en losa de concreto hidráulico permeable	Mezcla de cemento hidráulico, de material abierto y revenimiento cero, agregado grueso y pocos finos.
Estructura del pavimento	Básico	15 – 35 cm de espesor.	20-40% de volumen de vacíos. A base de grava de ¾" y balastro de 1.5 a 3".
Barrera de suelo	Básico	Min. 2 mm de grosor	Se requiere para la funcionalidad a largo plazo de la técnica.
Pozo de absorción	Opcional	Variable	Pozo relleno de capa drenante de roca min. 10 cm de diámetro

Consideraciones

- Es conveniente utilizarlos en zonas de tráfico calmado (en zonas residenciales, estacionamientos, plazas, accesos, entre otros).
- Se recomienda emplearlos en zonas donde el suelo tiene una capacidad de infiltración de mínimo 1.5 centímetros por hora.
- Los pavimentos permeables no son muy efectivos en zonas que reciben mucha escorrentía, por la tendencia al obstrucción de los poros.

Mantenimiento

- Los pavimentos permeables de adoquín solamente requieren limpieza superficial a base de barrido y poda en su caso.
- En pavimentos permeables de asfalto y concreto, realizar una vez al año prueba de permeabilidad sobre la estructura para determinar si la capa de pavimento se encuentra saturada de sólidos. En caso de ser así, se deberá de limpiar removiendo estos sólidos de los espacios vacíos de la estructura empleando elementos mecánicos como barredoras, bombas a presión y/o aspiradoras.

Fuentes adicionales de consulta

- Mario L. Castro E., 2011, Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano, disponible en: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7483/tesis599.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- City of Philadelphia 2014, City of Philadelphia Green Streets Design Manual, disponible en: http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf
- Tennessee Department of Environment and Conservation 2014, Tennessee Permanent Stormwater Management and Design Guidance Manual, disponible en: http://tnpermanentstormwater.org/manual/17%20Chapter%205.4.8%20Permeable%20Pavement.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 21. Gráfico ilustrativo de Pavimentos Permeables

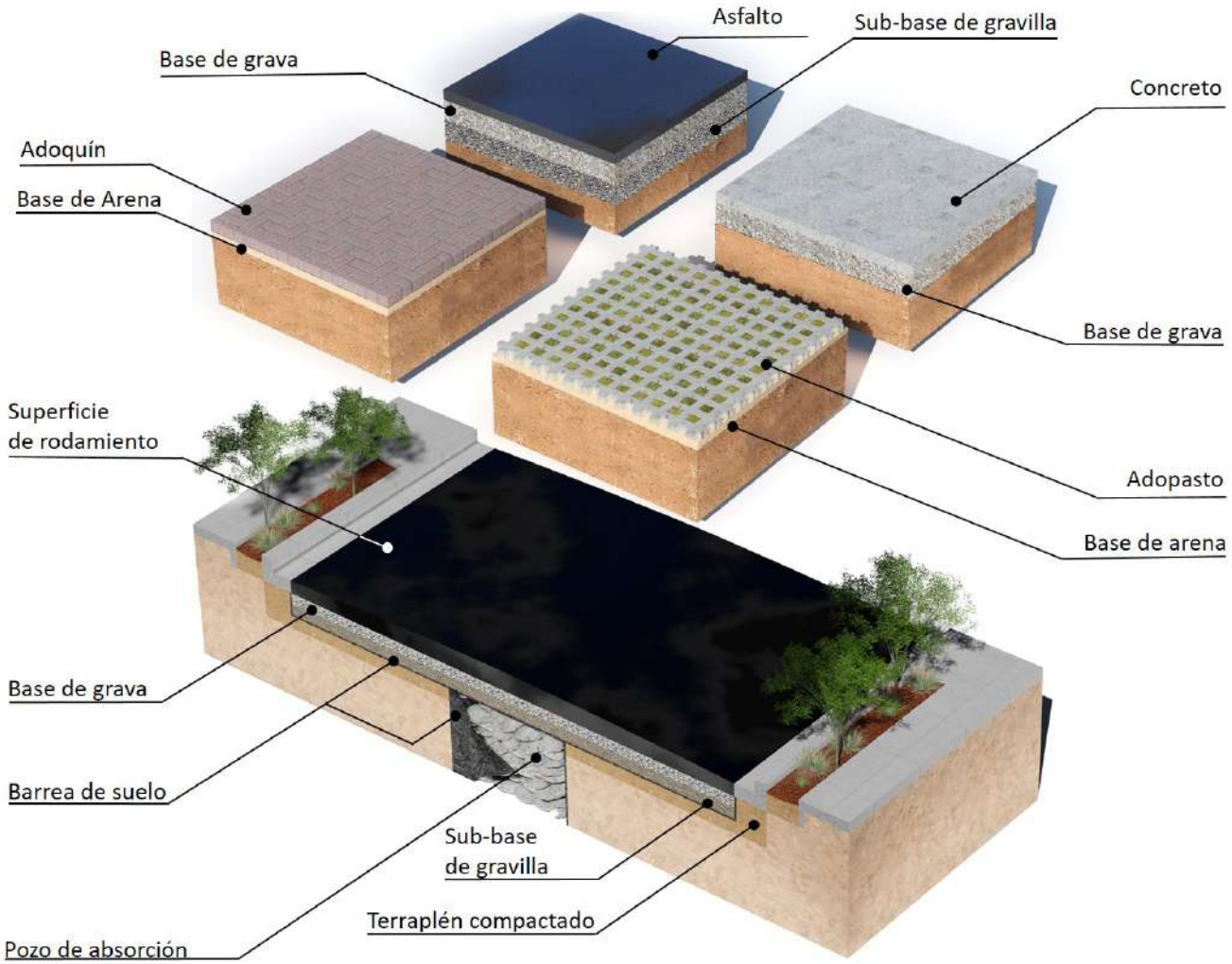
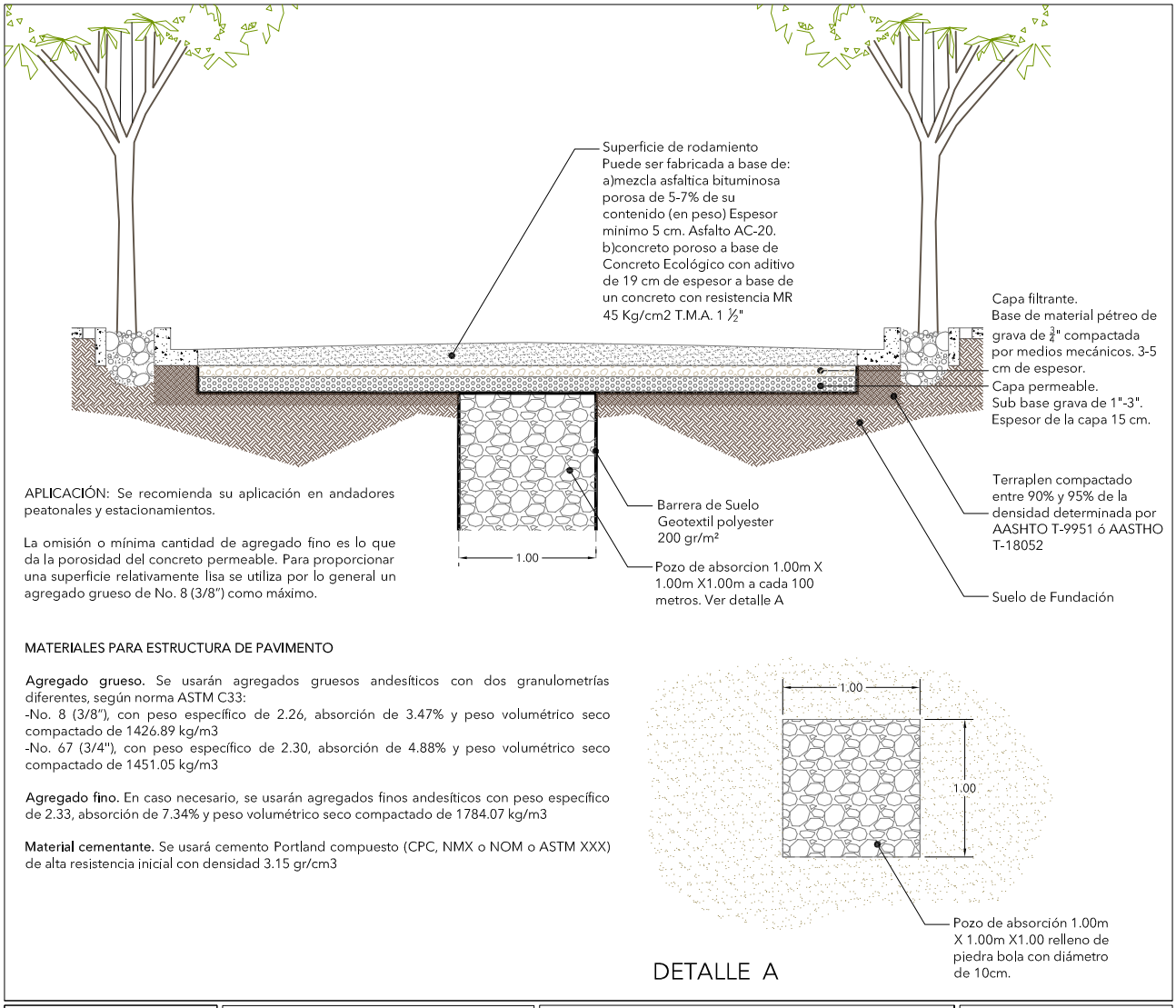


Figura 22. Detalles constructivos de Pavimentos Permeables



APLICACIÓN: Se recomienda su aplicación en andadores peatonales y estacionamientos.

La omisión o mínima cantidad de agregado fino es lo que da la porosidad del concreto permeable. Para proporcionar una superficie relativamente lisa se utiliza por lo general un agregado grueso de No. 8 (3/8") como máximo.

MATERIALES PARA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO

Agregado grueso. Se usarán agregados gruesos andesíticos con dos granulometrías diferentes, según norma ASTM C33:
-No. 8 (3/8"), con peso específico de 2.26, absorción de 3.47% y peso volumétrico seco compactado de 1426.89 kg/m3
-No. 67 (3/4"), con peso específico de 2.30, absorción de 4.88% y peso volumétrico seco compactado de 1451.05 kg/m3

Agregado fino. En caso necesario, se usarán agregados finos andesíticos con peso específico de 2.33, absorción de 7.34% y peso volumétrico seco compactado de 1784.07 kg/m3

Material cementante. Se usará cemento Portland compuesto (CPC, NMX o NOM o ASTM XXX) de alta resistencia inicial con densidad 3.15 gr/cm3

DETALLE A

	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Pavimento permeable		NO. DE PLANO: IV-10
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Reconocimiento del área a intervenir.
2. Excavación de terracerías.
3. Conformación de la estructura de pavimentos.
4. Conformación de la superficie de rodamiento.
5. Aplicación de pintura y señalamiento.
6. Prueba de funcionamiento.

5.4.9. Presas Filtrantes

Gaviones, diques de control, check dams, gabions

Descripción

Son barreras permeables que se utilizan para reducir la velocidad de flujo de aguas pluviales, con el fin de prevenir y/o reparar la erosión, fijar sedimento y mejorar la infiltración del agua de lluvia. Al dispersar y reducir la velocidad del flujo de agua, se previenen inundaciones pendiente abajo, y al retener sedimentos y materia orgánica, se previene la erosión pendiente arriba.

Pueden ser construidas utilizando rocas sin necesidad de aplicar mortero o aglutinantes, dispuestas de tal forma que se conforme un bordo perpendicular al curso de agua. Esta opción es común en pequeños cursos de agua sin flujos intensos. Otra alternativa es la de construir las presas utilizando costales rellenos de sustrato (tierra local o arena), los cuales tienen una duración aproximada de 4 años. Para cursos de agua con flujos de mayor intensidad, se pueden emplear presas de gaviones. Éstas consisten en armazones metálicos (comúnmente malla de acero galvanizado) con formas geométricas (rectangulares generalmente) rellenos de materiales que aporten porosidad (roca, metales, cerámica, aglomerados, plásticos, materiales calcáreos, entre otros). De igual forma, se colocan perpendiculares al curso de agua.

En las presas filtrantes generalmente no se planta vegetación, no obstante con el tiempo vegetación espontanea se va estableciendo hasta llegar a ocuparlas por completo. Existen sin embargo presas filtrantes vegetativas, para las cuales se utilizan tallos de plantas en la construcción de la estructura, mismos que brotarán con el tiempo. La vegetación ayuda a mantener la estabilidad de la técnica y contribuye en la retención de sedimentos y en la infiltración de agua, haciendo de las presas un sistema vivo.

Beneficios

- Contribuyen a regenerar los niveles freáticos en los causes de agua.
- Contribuyen a regenerar el suelo.
- Reducen la erosión por la moderación en la velocidad de las corrientes.
- Pueden diseñarse para aportar otro tipo de funciones; estructuras para transitar, mobiliario urbano, entre otros.

Consideraciones

- En sitios donde las avenidas intensas son comunes es recomendable considerar la construcción con gaviones.
- En pendientes pronunciadas (mínimo 50%) es recomendable la construcción con gaviones.
- Cuando se construye con gaviones se recomienda considerar el uso de materiales reciclados como escombro, ladrillos, concreto, cerámicas y otros.
- Deben colocarse en secciones rectas de los cursos de agua, no en curvas (meandros) ni inmediatamente después de éstas.
- Se deben de colocar en arroyos con orillas firmes.

Componentes

Tabla 8. Componentes de Presas Filtrantes

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Bordo (presa)	Básico	De roca: altura max. 1 m. De gavión: Altura y ancho variables.	Es aquí donde se concentran las escorrentías pluviales.
Amortiguamiento	Básico	De roca: Altura 15-30 cm, ancho 3 veces la altura. De gavión: Altura y ancho variables.	Colocada en la base del dique pendiente abajo, funciona para absorber la energía del agua que desborda.
Desborde	Opcional	Min. 20 cm por debajo del límite superior del bordo.	Es conveniente para controlar el flujo de desborde, lo cual facilita actividades de mantenimiento.

Mantenimiento

- Inspeccionar las presas filtrantes después de avenidas importantes y hacer las reparaciones pertinentes en caso de daños.
- Revisar después de avenidas intensas que la estructura de los gaviones esté firme y reforzarla en caso de ser necesario.
- Después de avenidas revisar el acumulamiento de sedimentos y retirar objetos de gran tamaño.

Fuentes adicionales de consulta

- SAGARPA 2013, Presas Filtrantes Vegetativas: Práctica eficiente para la rehabilitación de suelos en laderas, disponible en: http://biblioteca.inifap.gob.mx:8080/xmlui/handle/123456789/4061
- SAGARPA 2009, Presas de Gaviones, disponible en: http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/10%20Presas%20de%20gaviones.pdf
- Brad Lancaster 2006, Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond, Volume 1 Guiding Principles to Welcome Rain into Your Life and Landscape, disonible en: http://library.uniteddiversity.coop/Water_and_Sanitation/Rainwater_Harvesting_for_Drylands_and_Beyond_Volume_1.pdf

Figura 23. Gráfico ilustrativo de Presas Filtrantes

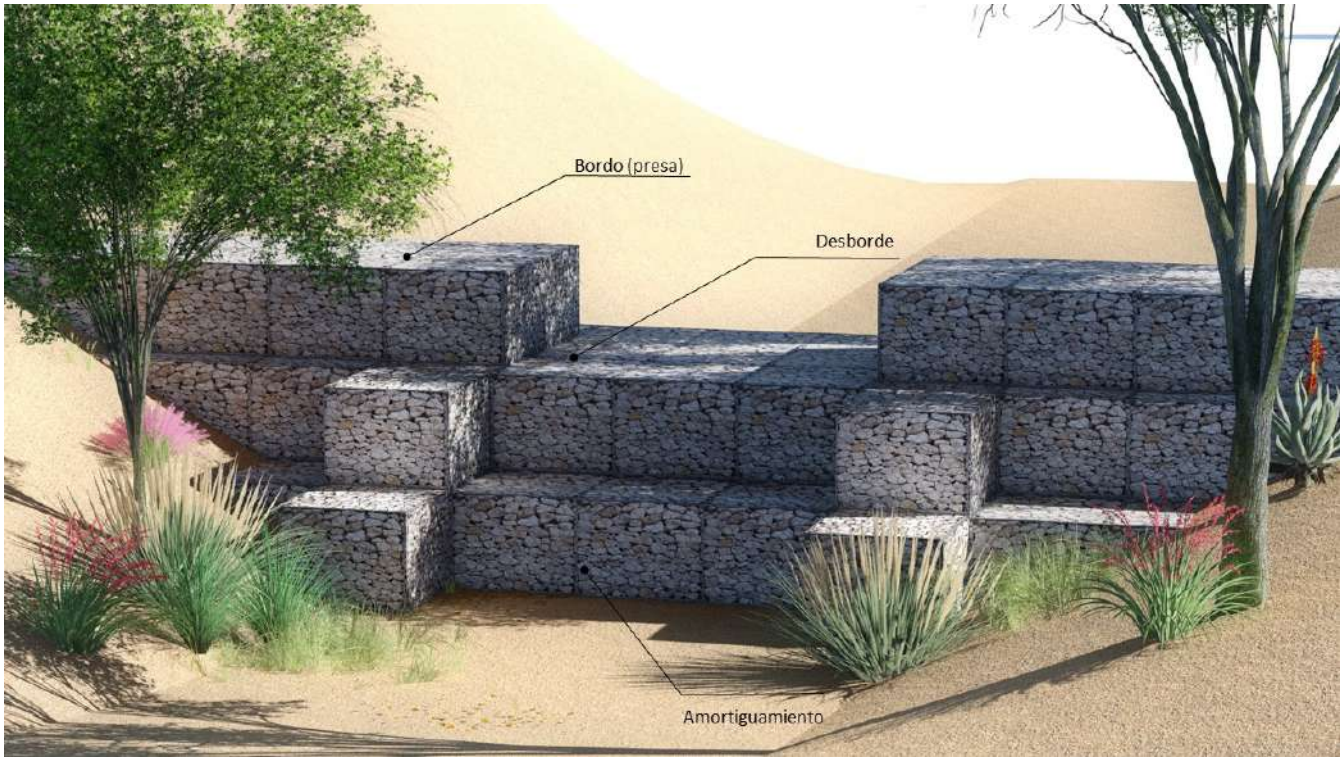
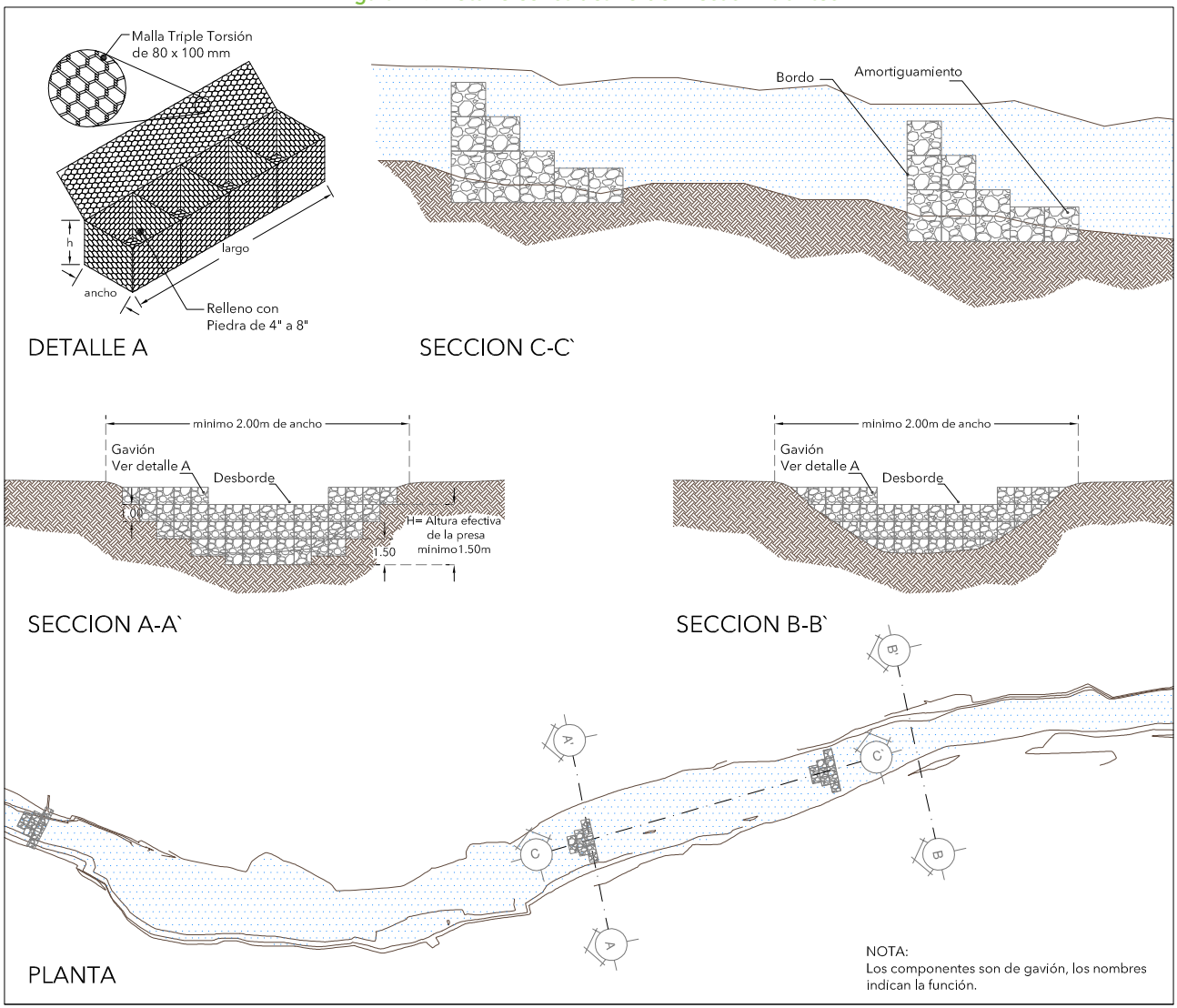


Figura 24. **Detalle constructivo de Presas Filtrantes**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Presa filtrante		NO. DE PLANO: IV-06
		ESCALA: S/E	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

Roca

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal).
2. Excavación de zanja somera perpendicular al cauce del escurrimiento.
3. Colocación de las rocas para formar el bordo; una parte de altura por cinco de grosor.
4. Prueba de funcionamiento.

Gavión

1. Marcado del área a intervenir (generalmente se emplea cal).
2. Excavación de zanja perpendicular al cauce del escurrimiento.
3. Armado y cosido de los gaviones.
4. Colocación de gaviones en sitio y punteado (amarre de los módulos de gavión entre sí).
5. Llenado de los gaviones y atirantado (mediante alambres horizontales).
6. Tapado del gavión y cosido para formar un bloque de gavión.
7. Prueba de funcionamiento.

5.4.10. Cisternas

Tanques, cisterns, rainwater tanks

Descripción

El objetivo de este sistema es almacenar escurrimiento pluvial (generalmente proveniente de techumbres) para poder aprovecharlo posteriormente. Para determinar la capacidad adecuada de una cisterna o un tanque es necesario conocer el área tributaria del techo, la precipitación promedio (o que se busque captar), ubicación y espacio adecuado para la cisterna así como las necesidades de consumo que serán satisfechas utilizando el agua almacenada. En general, las cisternas se pueden colocar sobre el suelo o pueden ser construidas de forma subterránea. La ventaja de la primera opción es la mayor facilidad en su instalación y de la segunda, el ahorro en espacio. Existen dos tipos de sistemas para las cisternas, estos son:

Sistema húmedo. En éste, la tubería de conducción de agua a la cisterna (una vez se ha pasado por el filtro de sedimentos), baja verticalmente hasta ubicarse por debajo de la tierra para recorrer el trayecto hasta la cisterna. Una vez llega al tanque, se eleva verticalmente hasta el acceso de agua. La ventaja de este sistema es que las cisternas pueden ubicarse a mayor distancia de la superficie de captación.

Sistema seco. En éste la tubería de conducción de agua va directamente del filtro de sedimentos a la cisterna de forma diagonal y suspendida. La ventaja es que se requiere menos materiales para la instalación (tubería y codos mayormente) que en el sistema húmedo. La desventaja es que la separación que la cisterna puede tener de la techumbre suele ser menor que en un sistema húmedo. La separación está determinada por la diferencia de altura entre la entrada de agua y el filtro de sedimento, considerando que la tubería debe conservar mínimo 2% de pendiente.

Las cisternas pueden ser fabricadas de diferentes tipos de materiales:

a. **Tanque de concreto:** son generalmente utilizados en sistemas enterrados, construidos en sitio. Aunque se pueden tener riesgos de agrietamiento o fugas, este tipo de tanque puede ser reparado y ofrece un costo menor por litro que los grandes tanques de materiales plásticos de gran capacidad de almacenamiento.

b. **Tanques a base de fibra de vidrio:** son más ligeros en comparación a los tanques de concreto o de plástico. Pueden durar muchas décadas sin presentar deterioro. Pueden ser pintados y reparados con facilidad y dependiendo del modelo pueden ir sobre la superficie o enterrados.

c. **Tanques de acero galvanizado:** de bajo costo, generalmente suelen ir sobre la superficie.

d. **Tanques de metal:** son generalmente ligeros, fáciles de transportar y reubicar, y son instalados sobre la superficie. Si se emplea un tanque metálico que tenga una aleación de aluminio – zinc se debe aplicar una capa protectora ya que existe la posibilidad de que se presente oxidación y la lixiviación de estos componentes.

e. **Tanques de polietileno o polipropileno:** son los más comunes. Durables y ligeros, están disponibles en una gran variedad de tamaños, formas y colores. Dependiendo del modelo, estos tanques de plástico son típicamente aptos para ser instalados tanto de forma superficial como subterránea.

Beneficios

- Ofrece la posibilidad de contar con agua en la temporada más seca.
- Se puede hacer uso tanto doméstico como en exteriores de la reserva de agua disponible.
- Se cuenta con agua de mayor calidad.
- Ofrece la posibilidad de reducir la demanda de agua de la red pública.

Componentes

Tabla 9. Componentes de Cisternas

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Área de captación	Básico	Variable	El área de captación más usual es la techumbre de cualquier edificación.
Canalones y bajadas pluviales	Básico	Canalones: min. 10 cm ancho Bajada pluvial: diámetro min. 10 cm	Conducen el agua que precipita sobre la techumbre hacia el sistema de cisterna.
Filtro de sedimentos	Básico	Min. 30 cm arriba del nivel superior de la cisterna	Es necesario para filtrar impurezas que fluyen del techo.
Tubería de conducción de agua	Básico	Mismo diámetro que la bajada pluvial	Se necesita para conducir el agua a la cisterna.
Entrada de agua	Básico	Diámetro min. 15 cm. Max. 30 cm por debajo del nivel superior de la cisterna	Necesaria para el acceso de agua al tanque.
Cisterna/tanque	Básico	N/A	Las medidas resultarán del volumen esperado a almacenar.
Tubo de ventilación	Básico	N/A	Evita la formación de vacío el desalojar agua.
Desborde	Básico	Min. el mismo diámetro que la tubería de entrada	El agua que ya no pueda almacenarse será vertida por este elemento.

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Salida de agua y válvula reguladora	Básico	N/A	Sirve para regular el agua que se aprovechará y que se extrae de la cisterna.
Tubería de primer flujo pluvial	Opcional	Diámetro min. 15 cm.	Contiene el primer escurrimiento pluvial (caracterizado por tener más sólidos e impurezas), actuando como filtro. Ubicado en paralelo a la bajada pluvial.
Sistema de filtros post/captaciòn	Opcional	N/A	Filtran el agua almacenada para poderla utilizar en actividades humanas.
Bombas	Opcional	N/A	En caso de que se necesite conducir agua pendiente arriba o a áreas distantes.

Consideraciones

- Mantener siempre la cisterna o tanque cubierta, esto reduce significativamente la presencia de impurezas y reduce la evaporación del agua.
- Construir la salida de agua a una altura mínima de 10 centímetros por encima del fondo de la cisterna para evitar la presencia de sedimentos en el agua.
- El interior del tanque deberá de ser accesible para inspecciones periódicas y mantenimiento.
- La ubicación del tanque deberá de procurarse lo más cerca posible al área de captación así como a las zonas de demanda.
- Cualquier tanque se deberá ubicar e instalar de forma que no exista penetración de luz solar para impedir el crecimiento de algas en el agua, deben ser opacos o pintarse después con el mismo fin.
- Los tanques deberán de ser instalados sobre una cama de arena fina que tenga como mínimo un espesor de 10 centímetros, sobre terreno firme, nivelado y libre de irregularidades y basura.

Mantenimiento

- Revisar antes de la temporada de lluvias el sistema de manera total para asegurarse de que no existan elementos disfuncionales.
- Mantener el área de captación, los canalones y las bajadas pluviales despejadas y libres de escombro.
- Limpiar antes de la temporada de lluvias el sistema de canalones y el filtro de sedimentos, y reparar en caso de que sea necesario.
- Drenar la tubería de primer flujo pluvial después de la temporada de lluvias para remover los sólidos acumulados.

Fuentes adicionales de consulta

- Texas Water Development Board 2005, The Texas Manual on Rainwater Harvesting, disponible en: http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf
- Patricia H. Waterfall 2004, Harvesting Rainwater for Landscape Use, disponible en: http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1344.pdf
- Brad Lancaster 2006, Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond, Volume 1 Guiding Principles to Welcome Rain into Your Life and Landscape, disonible en: http://library.uniteddiversity.coop/Water_and_Sanitation/Rainwater_Harvesting_for_Drylands_and_Beyond_Volume_1.pdf

Figura 25. Gráfico ilustrativo de Cisterna, sistema húmedo

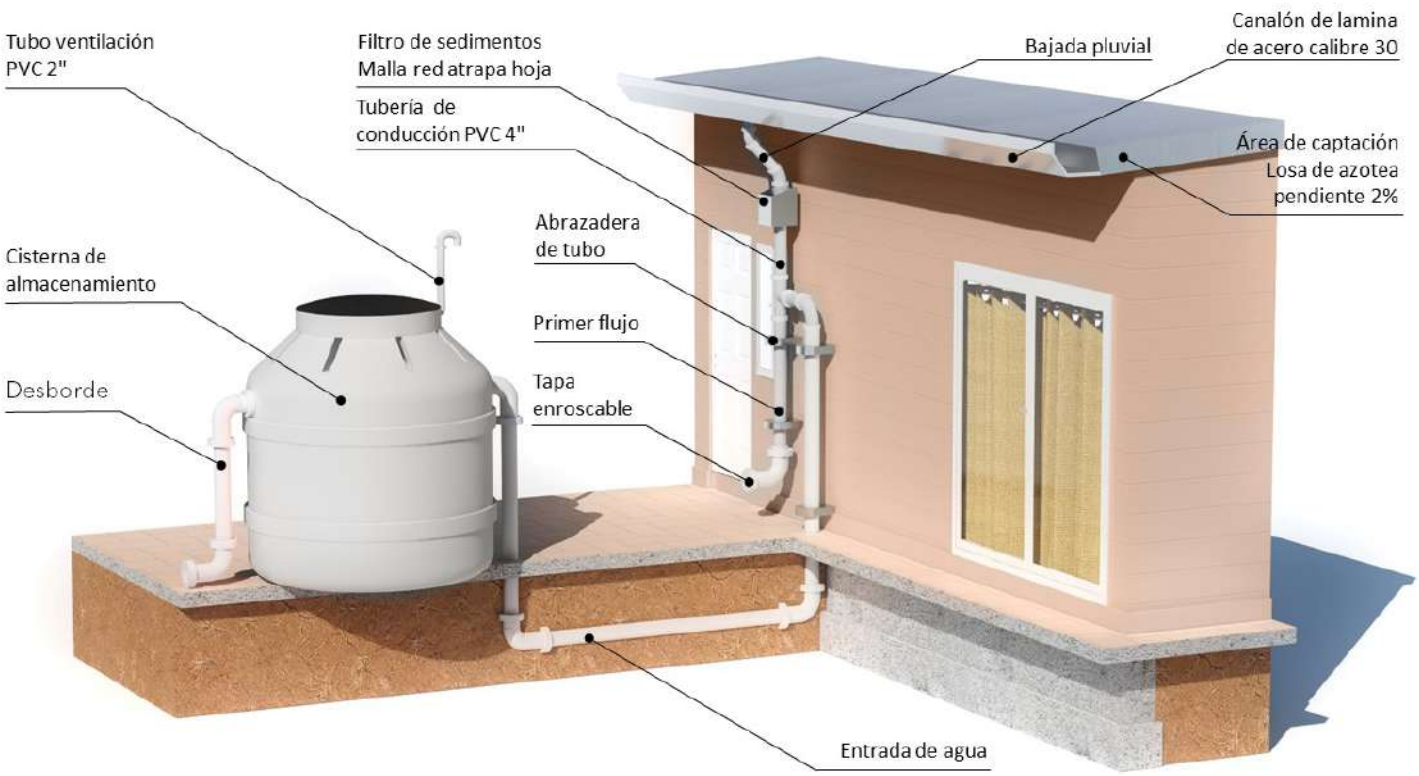


Gráfico ilustrativo

Figura 26. Gráfico ilustrativo de Cisterna, sistema seco

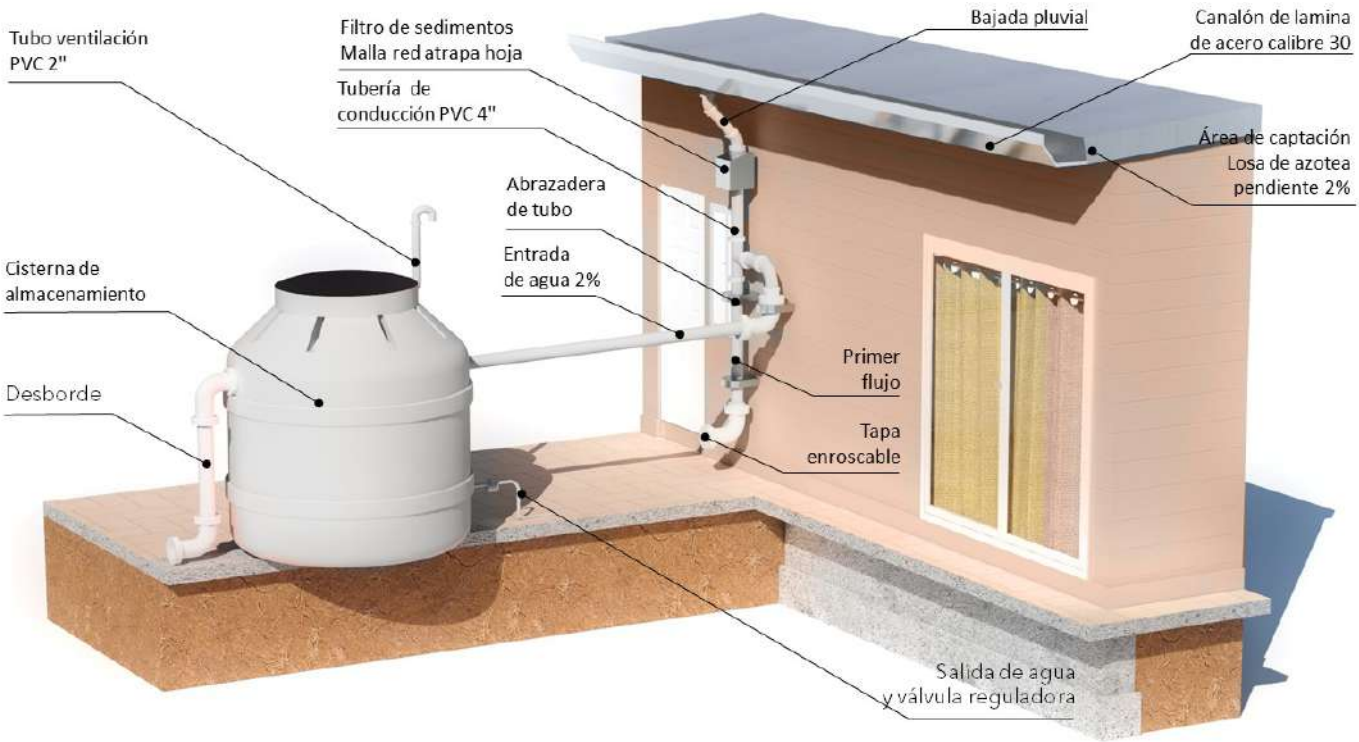
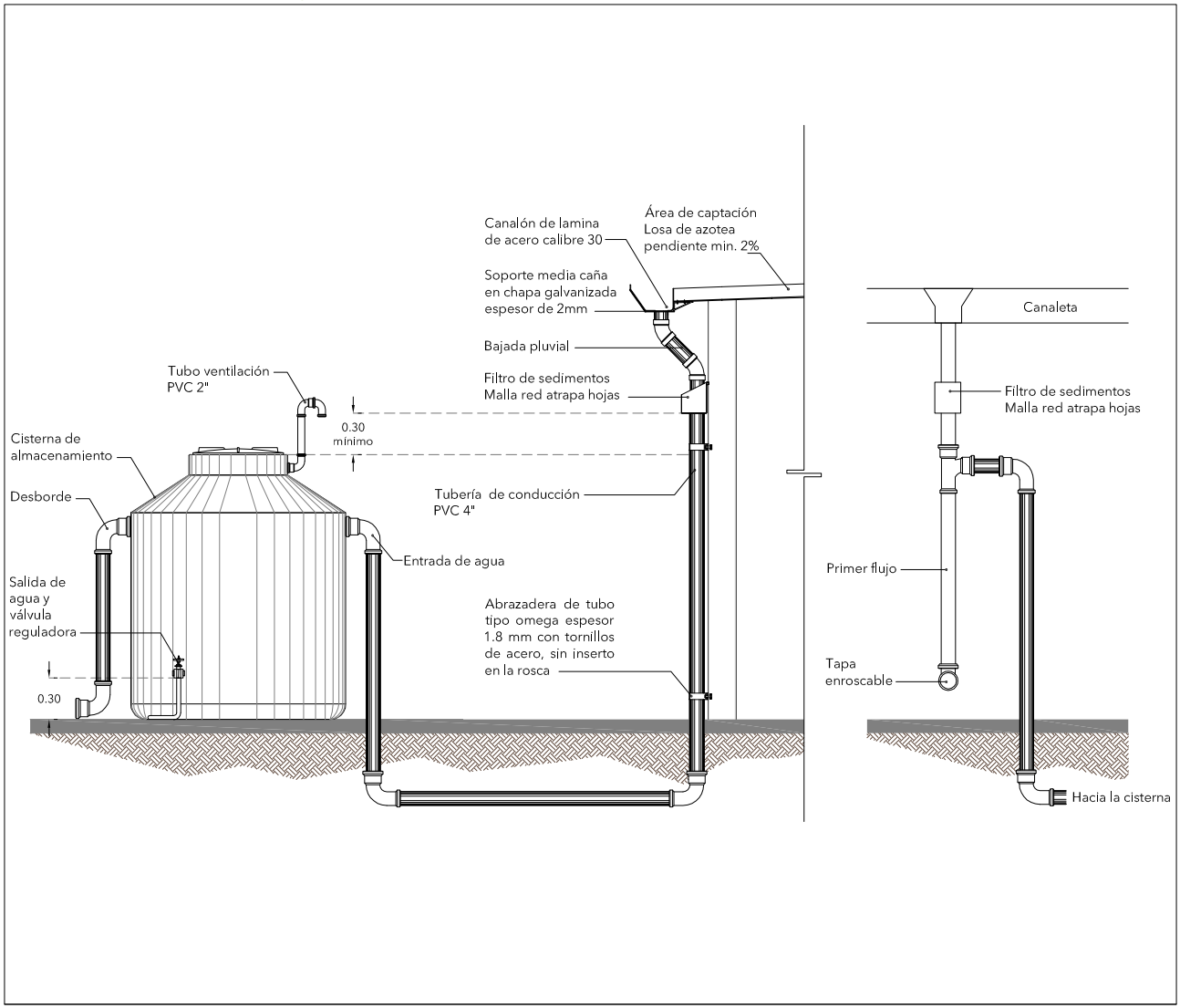
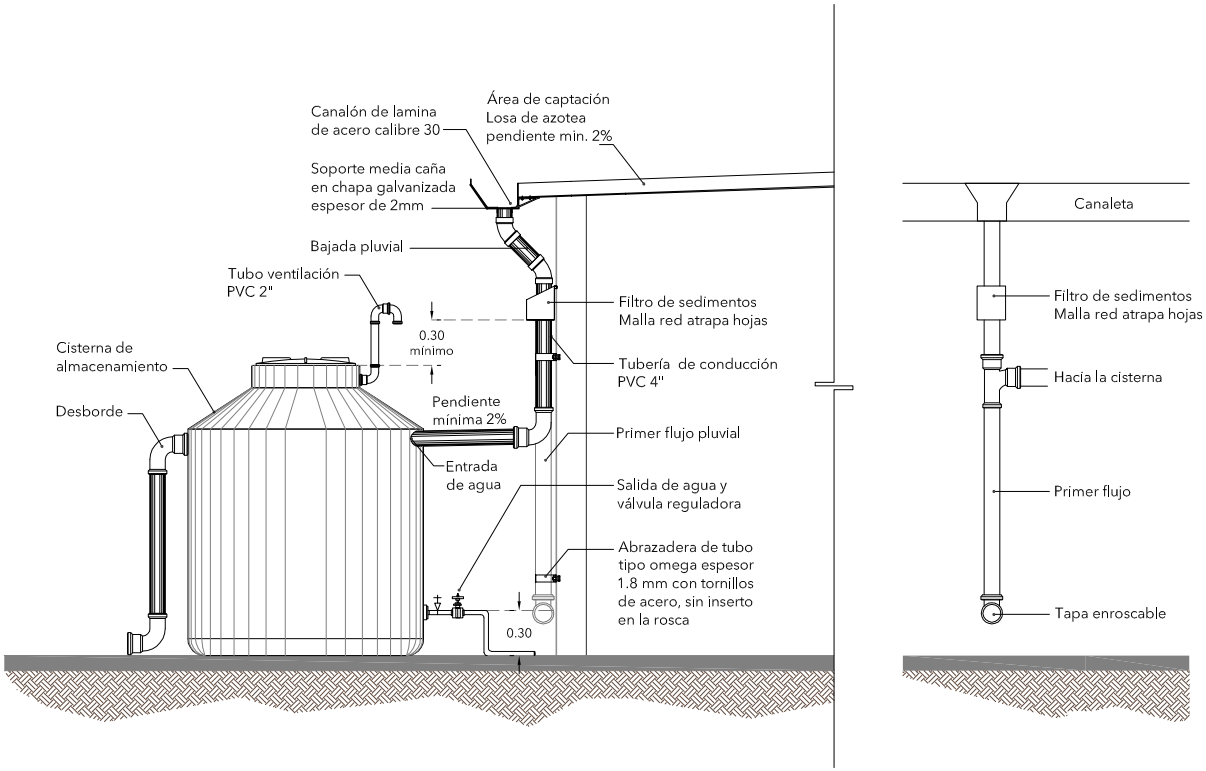


Figura 27. **Detalles constructivos de Cisterna, sistema húmedo**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Cisterna Método húmedo		NO. DE PLANO: IV-12
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Figura 28. **Detalles constructivos de Cisterna, sistema seco**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Cisterna Método seco		NO. DE PLANO: IV-11
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Señalización de las líneas de servicios (agua, gas, drenaje, entre otros).
2. Preparación de los materiales a utilizar en la construcción del sistema (canalones, bajadas pluviales, cisterna, codos, filtro de sedimentos, y otros).
3. Instalación de canalones y bajadas pluviales.
4. Instalación del filtro de sedimentos.
5. Instalación del sistema de primer flujo.
6. Instalación de tubería para la conducción del agua pluvial hacia la cisterna.
7. Conformación de base de arena para cisterna.
8. Instalación de la cisterna.
9. Instalación de la tubería de desborde.
10. Colocación de accesorios para la cisterna.
11. Instalación de equipo de bombeo (opcional).
12. Prueba de funcionamiento.

5.4.11. Techos Verdes

Azoteas Naturadas, Techos Vivos, Green Roofs, Living Roofs

Descripción

Los techos verdes consisten en instalaciones sobre las techumbres que permiten el desarrollo de vegetación. Cabe resaltar que un techo verde no es simplemente una cubierta con macetas. La técnica requiere llevar a cabo un tratamiento especial en la techumbre para asegurar la integridad de la estructura, proteger la superficie y generar los beneficios correspondientes para quienes habitan el lugar. El techo verde se compone de una serie de capas para lograr su funcionamiento evitando con ello el daño a la edificación. Las principales capas incluyen: vegetación, sistema de riego, capa de sustrato, barrera de suelo, drenaje (capa drenante), y membrana impermeable.

Se pueden instalar en edificaciones nuevas o ya existentes. En el primer caso se puede diseñar la estructura del edificio de acuerdo a los objetivos que se busquen para el techo verde. En el segundo caso se debe llevar a cabo un análisis de la edificación y determinar la capacidad de carga de la techumbre. Con base en esto se puede diseñar el techo verde más adecuado.

Los techos verdes se clasifican en dos tipos:

- **Extensivos.** Estos son techos verdes más ligeros, con una capa de sustrato poco profunda de máximo 20 centímetros. Generalmente necesitan poco mantenimiento y tienen requerimientos hídricos más bajos al albergar especies vegetales suculentas con forma de crecimiento rastrero.
- **Intensivos.** Son techos verdes más pesados con una capa de sustrato más profunda de mínimo 20 centímetros. Al ser instalados en techumbres que soportan más peso, son comúnmente el tipo de Techos Verdes empleados para albergar actividades humanas. Generalmente requieren más mantenimiento y riego que los Techos Verdes extensivos. En zonas desérticas, esta opción pudiera presentar una oportunidad de innovación para desarrollar sistemas que no requieran riego mediante la selección de vegetación nativa de mayores dimensiones.

Cabe resaltar que son comunes los techos verdes que combinan ambos tipos dependiendo del diseño de funciones o de los tipos de vegetación que se buscará establecer en ellos.

Beneficios

- Aumentan el área verde de la propiedad y se pueden crear espacios con funciones de esparcimiento.
- A suficiente escala pudieran contribuir de forma importante a incrementar la cobertura vegetal de la ciudad.
- Dotan a las edificaciones de aislamiento térmico, lo cual reduce el consumo energético y produce ahorros económicos.
- Aporta aislamiento acústico a las edificaciones, aumentando el confort dentro de éstas.
- Aplicados a macro-escala, pueden ayudar significativamente a reducir el efecto de isla de calor urbana.
- Prolongan la vida útil de las techumbres al reducir los daños por fluctuaciones de temperatura y exposición a rayos ultravioletas.
- Ofrecen la posibilidad de establecer vegetación en superficies sub-utilizadas que nunca podrían albergarla. Esto es especialmente importante en zonas urbanas con un alto índice de impermeabilidad.

Consideraciones

- A la hora de diseñar, se debe tener en cuenta el peso del sistema cuando está saturado de agua.
- Para incrementar la sustentabilidad y los beneficios de estos sistemas, es recomendable irrigarlos con agua de lluvia colectada en cisternas.
- La técnica puede instalarse en techos de prácticamente cualquier material siempre y cuando tenga suficiente capacidad de carga.
- Puede ser necesario reubicar infraestructura o equipo que se encuentre sobre el techo. En algunos casos se podrá instalar el sistema alrededor de estos.
- Los techos verdes requieren de mayor mantenimiento que los techos tradicionales.

Componentes

Tabla 10. Componentes de Techos Verdes

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Techumbre	Básico	NA	Es necesaria una estructura de techo que soporte el peso del sistema (min. 78 kg/m²). Es necesario cuente con una pendiente de min. 2% y un sistema de desalojo de agua.
Membrana impermeable	Básico	NA	Es el componente más importante para asegurar el funcionamiento adecuado a largo plazo de esta técnica.
Capa drenante	Básico	Porosidad min. de 25% Espesor min. 2 cm	Es muy importante para evacuar el agua y evitar daños a la vegetación y a la edificación.
Barrera de suelo	Básico	Min. 2 mm de grosor	Garantiza el funcionamiento al evitar la migración de finos a la capa drenante.
Capa de sustrato	Básico	Espesor: min. 10 cm Extensivos, max. 20 cm Intensivos, min. 20 cm	Indispensable para el desarrollo de vegetación. Debe retener agua y aportar nutrientes al mismo tiempo que es ligera.
Vegetación	Básico	NA	Extensivos: Se utilizan mayormente suculentas rastreras. Intensivos: Pueden albergar especies de mayor porte como arbustos e inclusive árboles.
Sistema de drenaje	Básico	Diámetro min. 10 cm	Es necesario para drenar el agua fuera del techo.
Franja filtro	Básico	Min. 20 cm de grosor	Necesario para mantener en buen funcionamiento el sistema de drenaje.

Mantenimiento

- Mantenimiento rutinario de jardines como podas, deshierbe, sustitución de vegetación muerta, desparasitación y fertilización (de preferencia con fertilizantes orgánicos).
- Revisión y limpieza de los elementos de desalojo de agua (drenaje) por lo menos cada 3 meses o después de la temporada de lluvia.
- Revisión de todas las capas y elementos de la azotea verde, principalmente la Membrana Impermeable por lo menos cada 6 meses.

Fuentes adicionales de consulta

- Sánchez-Moral I.G. 2012, Manual Para El Diseño E Instalación De Una Azotea Verde, disponible en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2456/TESIS.pdf?sequence=1
- State of Victoria 2014, Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia, disponible en: http://www.growinggreenguide.org/wp-content/uploads/2014/02/growing_green_guide_ebook_130214.pdf
- Tolderlund L. 2010, Design Guidelines and Maintenance Manual for Green Roofs in the Semi-Arid and Arid West, disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/documents/GreenRoofsSemiAridAridWest.pdf

Gráfico ilustrativo

Figura 29. Gráfico ilustrativo de Techo Verde

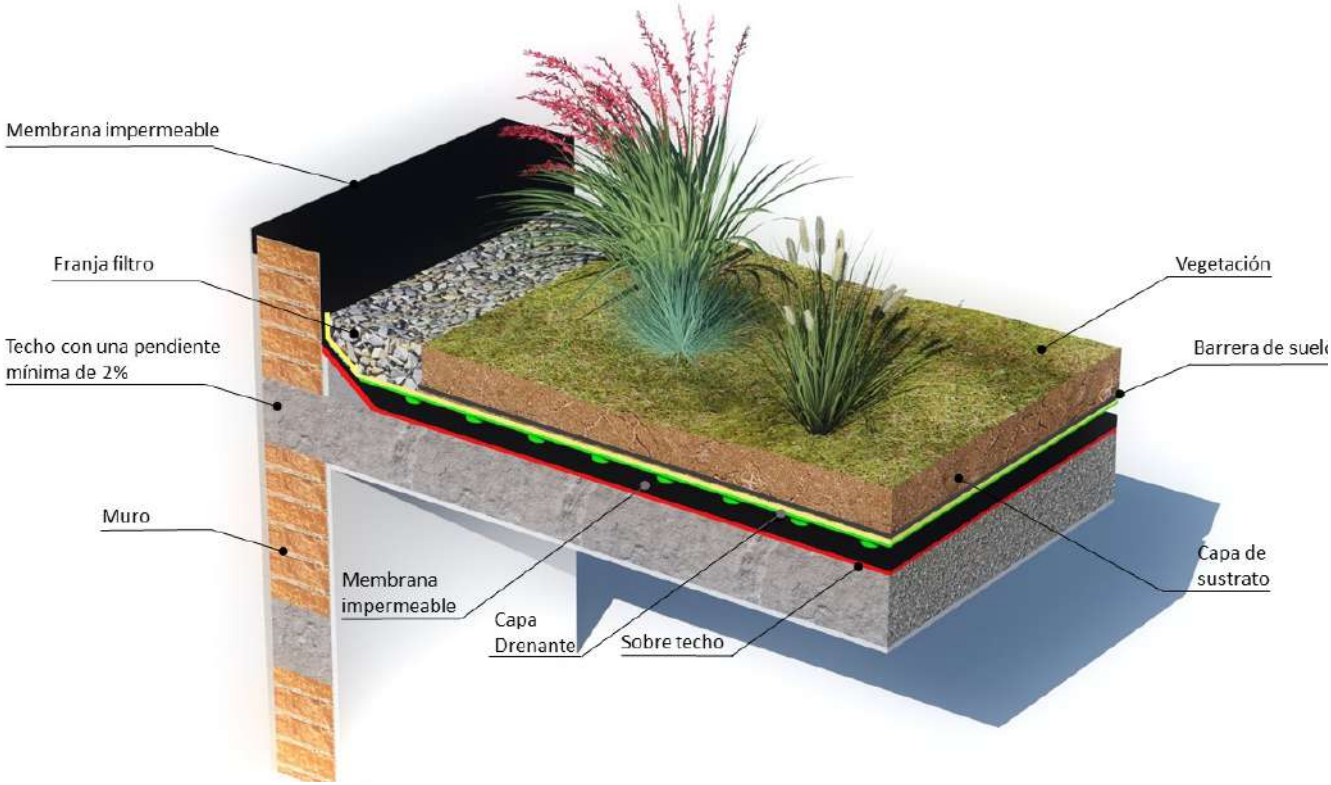
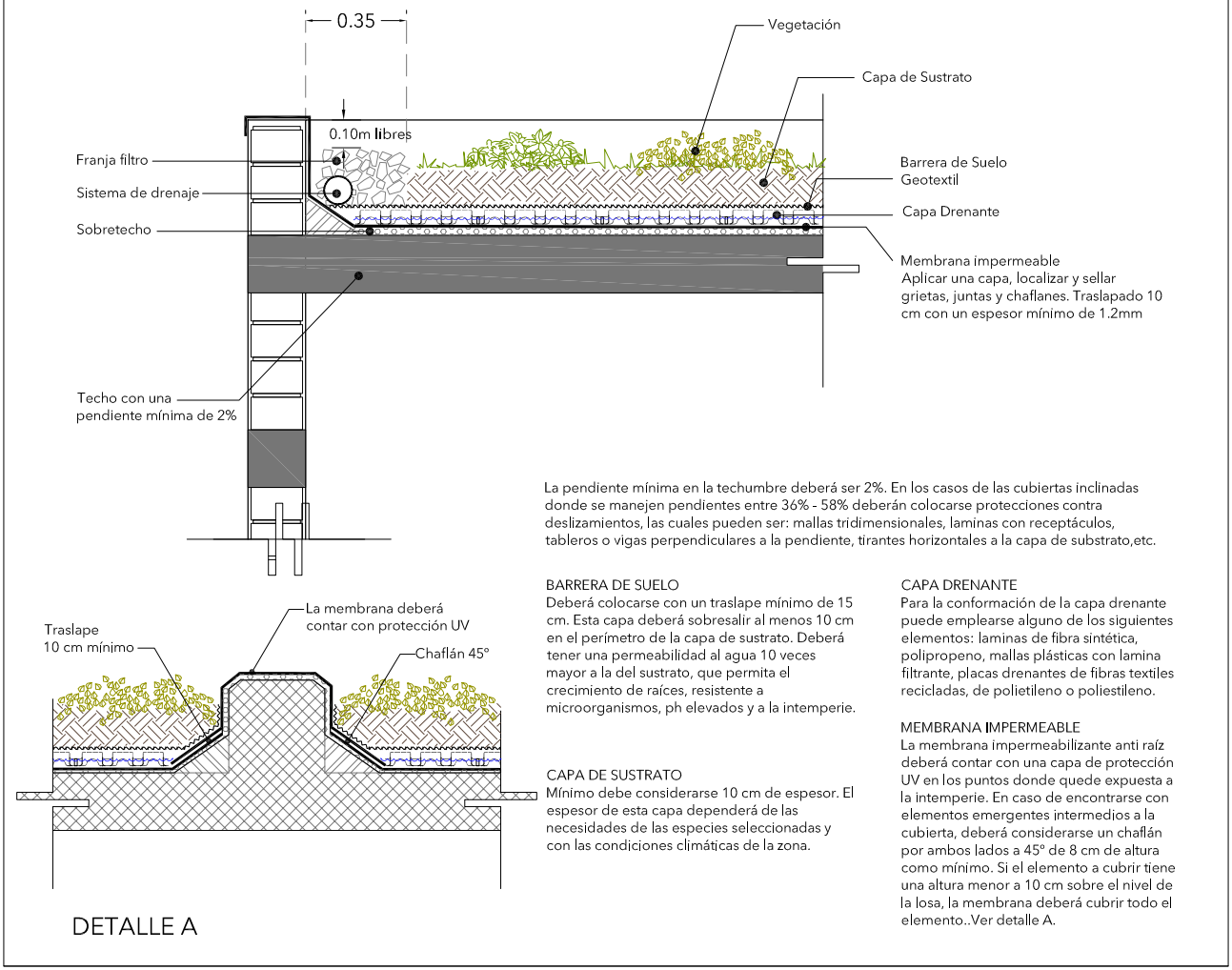


Figura 30. Detalles constructivos de Techo Verde



Proceso constructivo

1. Limpieza de la techumbre.
2. Aplicación de impermeabilizante (opcional).
3. Instalación de desagües.
4. Colocación de la membrana impermeable.
5. Colocación de la capa drenante.
6. Colocación de la barrera de suelo.
7. Colocación de la capa de sustrato.
8. Plantación de vegetación.

5.4.12. Muros Verdes

Jardines verticales, green walls, living walls, vertical gardens

Descripción

Son sistemas que permiten el desarrollo de vegetación en superficies verticales (o semi-verticales), generalmente se encuentran soportados en paredes exteriores o interiores de edificaciones, aunque pueden ser estructuras independientes con soporte propio. Los Muros Verdes son similares a los Techos Verdes en los beneficios que aportan a las edificaciones y junto con aquellos, forman parte de las llamadas técnicas de naturación de edificios.

Los Muros Verdes se pueden clasificar en tres tipos principales:

Sistemas hidropónicos. En éstos, la vegetación recibe nutrientes y agua a través de una solución preparada, sin la necesidad de contar con sustrato. Pueden ser contenedores modulares o páneles afianzados a una lámina (Membrana impermeable) que a su vez, se sujeta a través de ménsulas a las paredes de soporte (o marco independiente). El sistema se fija de tal forma que se crea un colchón de aire entre la pared de la edificación y la lámina posterior del sistema con el fin de proteger la superficie de la pared. La vegetación se ancla a un medio de crecimiento inerte que puede ser de fibras minerales o de manta de fieltro, el cual está adherido a los contenedores modulares o páneles. Estos materiales generalmente retienen humedad, incrementando su peso considerablemente. La ventaja del sistema hidropónico es que no presenta degradación estructural del medio de crecimiento, no hay acumulación de sales y los nutrientes se suministran de forma precisa y controlada. Con el tiempo las raíces ocuparán todo el sistema para formar una red robusta y resistente.

Sistemas en base de sustrato. En éstos la vegetación se desarrolla en contenedores de plástico, metal o fibras inertes que almacenan sustrato. Al igual que en el sistema hidropónico, los contenedores se afianzan a una lámina impermeable y ésta se fija a la pared (o marco independiente) con soportes que permiten la formación de un colchón de aire entre ambas superficies. Esto último no es necesario cuando los contenedores se sujetan a un marco independiente. El sustrato de estos muros provee de soporte, nutrientes, humedad y aire a la vegetación, reduciendo también la necesidad de manejo constante asociada a los sistemas hidropónicos. Sin embargo, con el tiempo el sustrato perderá los nutrientes y se puede ir dando una acumulación de sales por la adición de fertilizantes que se requerirá.

Soportes para enredaderas. Este es el Muro Verde más sencillo, consiste en instalar un marco (generalmente metálico) independiente o sujeto a una edificación, que se coloca sobre un área de jardín o con maceteros en la base. En la base ajardinada se planta vegetación trepadora que con el tiempo cubrirá la estructura, lo que formará el Muro Verde. Este tipo de muros puede aportar los mismos beneficios que los otros dos tipos pero en menor medida debido a su reducido grosor comparado con los otros.

Beneficios

- Dotan a las edificaciones de aislamiento térmico, lo cual reduce el consumo energético y produce ahorros económicos.
- Aporta aislamiento acústico a las edificaciones, aumentando el confort dentro de éstas.
- Aplicados a macro-escala, pueden ayudar significativamente a reducir el efecto de isla de calor urbana.
- Ofrecen la posibilidad de establecer vegetación en superficies sub-utilizadas que nunca podrían albergarla. Esto es especialmente importante en zonas urbanas con un alto índice de impermeabilidad.
- Forman un componente de gran valor estético para la arquitectura y el paisajismo.
- Incrementan la comodidad y ofrecen oportunidades de producción de alimentos y esparcimiento.

Consideraciones

- Los muros verdes se han caracterizado por requerir de un mantenimiento e insumos constantes, mayormente cuando se trata de sistemas hidropónicos.
- Requieren de agua para riego durante toda su vida útil. La alternativa para incrementar la sustentabilidad y los beneficios de estos sistemas, es irrigarlos con agua de lluvia colectada en cisternas.
- Pueden requerir de suministro de iluminación artificial, especialmente en las partes bajas que están menos expuestas a la luz solar.
- Existe una ventana de oportunidad en la innovación de sistemas con sustrato que estén vinculados al suelo, que capten agua de lluvia y que puedan llegar a funcionar sin la necesidad de insumos.

Componentes

Tabla 11. Componentes de Muros Verdes

Componente	Necesidad	Medidas	Observaciones
Marco estructural	Básico	Min. 3 cm de espesor	El marco es generalmente metálico y tiene que fijarse firmemente a la pared o puede ser independiente.
Membrana impermeable	Básico	Debe abarcar toda la extensión del Muro Verde	Es indispensable para evitar daños a las paredes.
Contenedores	Básico	Variables	Fundamentales para el desarrollo de la vegetación. También pueden ser dos capas de fibra mineral o manta de fieltro unidas entre sí, en las que se conforman pequeños contenedores, generalmente en sistemas hidropónicos.
Sistema de riego	Opcional	Variables	Generalmente se instalan sistemas automatizados. Sin embargo pueden instalarse muros verdes que se irriguen manualmente.
Recolección de agua	Opcional	Variables	Puede no ser necesario cuando el muro puede drenar sobre un área verde o maceta. Es necesario cuando el sistema no debe escurrir agua fuera de sí.
Sistema de bombeo	Opcional	Variables	Para sistemas hidropónicos, la solución se colecta y se recicla en el sistema por medio de bombeo.

Mantenimiento

- Mantenimiento rutinario de jardines como podas, deshierbe, sustitución de vegetación muerta, desparasitación y fertilización de preferencia orgánica (en muros en base de sustrato).
- Revisar la profundidad del sustrato cada 6 meses y restituir en caso de que haga falta.
- Probar y revisar manualmente el sistema de riego y monitorear el sistema de automatización cada 6 meses, considerando parámetros como volumen de agua distribuido, frecuencia, humedad uniforme del sustrato o fibras minerales y niveles de nutrientes para sistemas hidropónicos.
- Mantener un control de adición de fertilizantes y registro de pH y conductividad eléctrica antes y después de añadir fertilizantes.
- Revisar la firmeza de los anclajes en la estructura de soporte cada 3 meses y afianzarlos en caso de que sea necesario.
- Revisar cada 6 meses que la estructura de soporte (especialmente cuando es un muro) no tenga daños por humedad y tomar las medidas necesarias en caso de requerirse.

Fuentes adicionales de consulta

- State of Victoria 2014, Growing Green Guide: A guide to green roofs, walls and facades in Melbourne and Victoria, Australia, disponible en: http://www.growinggreenguide.org/wp-content/uploads/2014/02/growing_green_guide_ebook_130214.pdf
- Hedberg H.F. 2008, Vertiscaping: A Comprehensive Guide to Living Walls, Green Screens and Related Technologies, disponible en: http://lda.ucdavis.edu/people/2008/HHedberg.pdf

Figura 31. Gráfico ilustrativo de Muro Verde

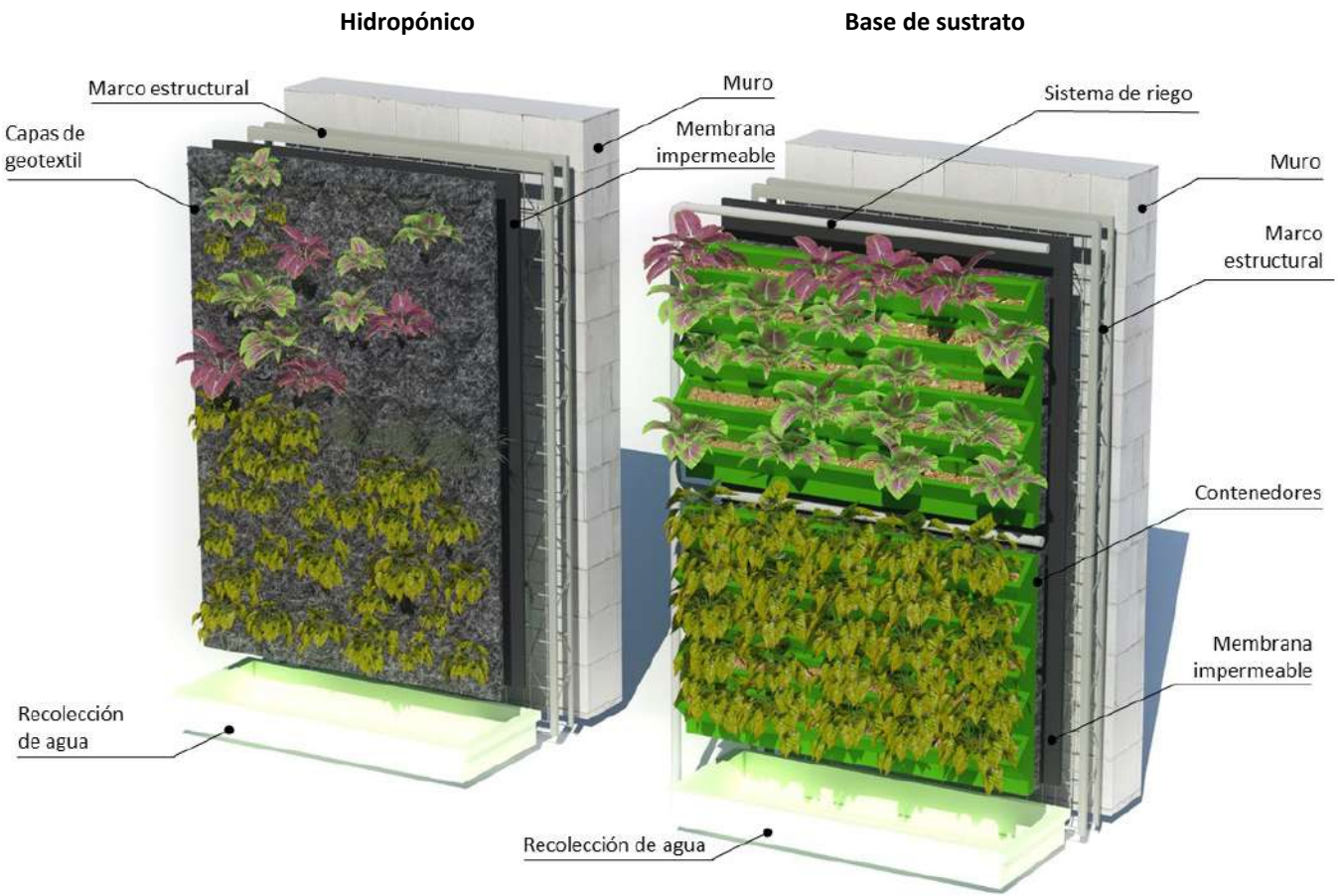


Figura 32. **Detalles constructivos de Muro Verde, en base de sustrato**

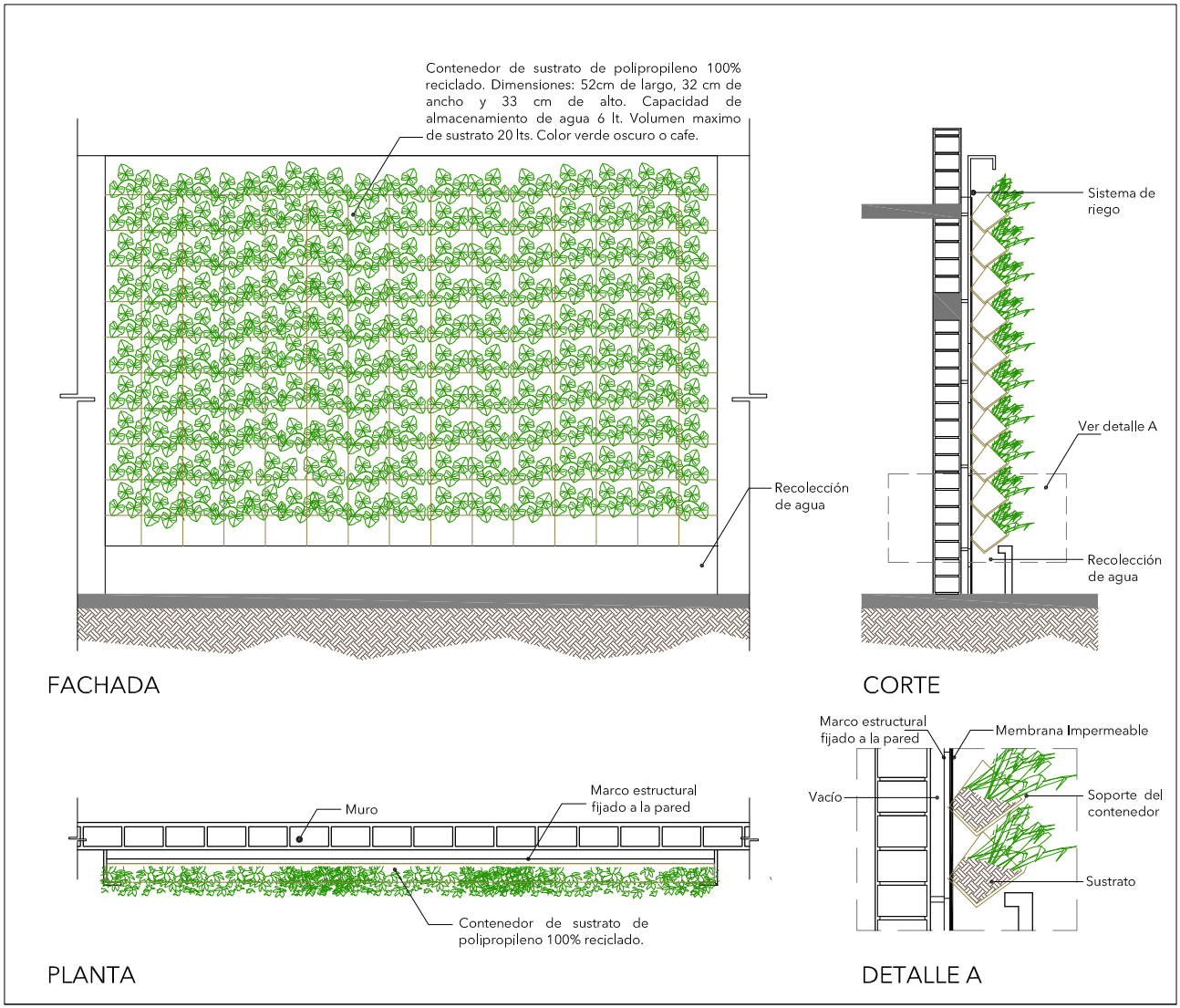
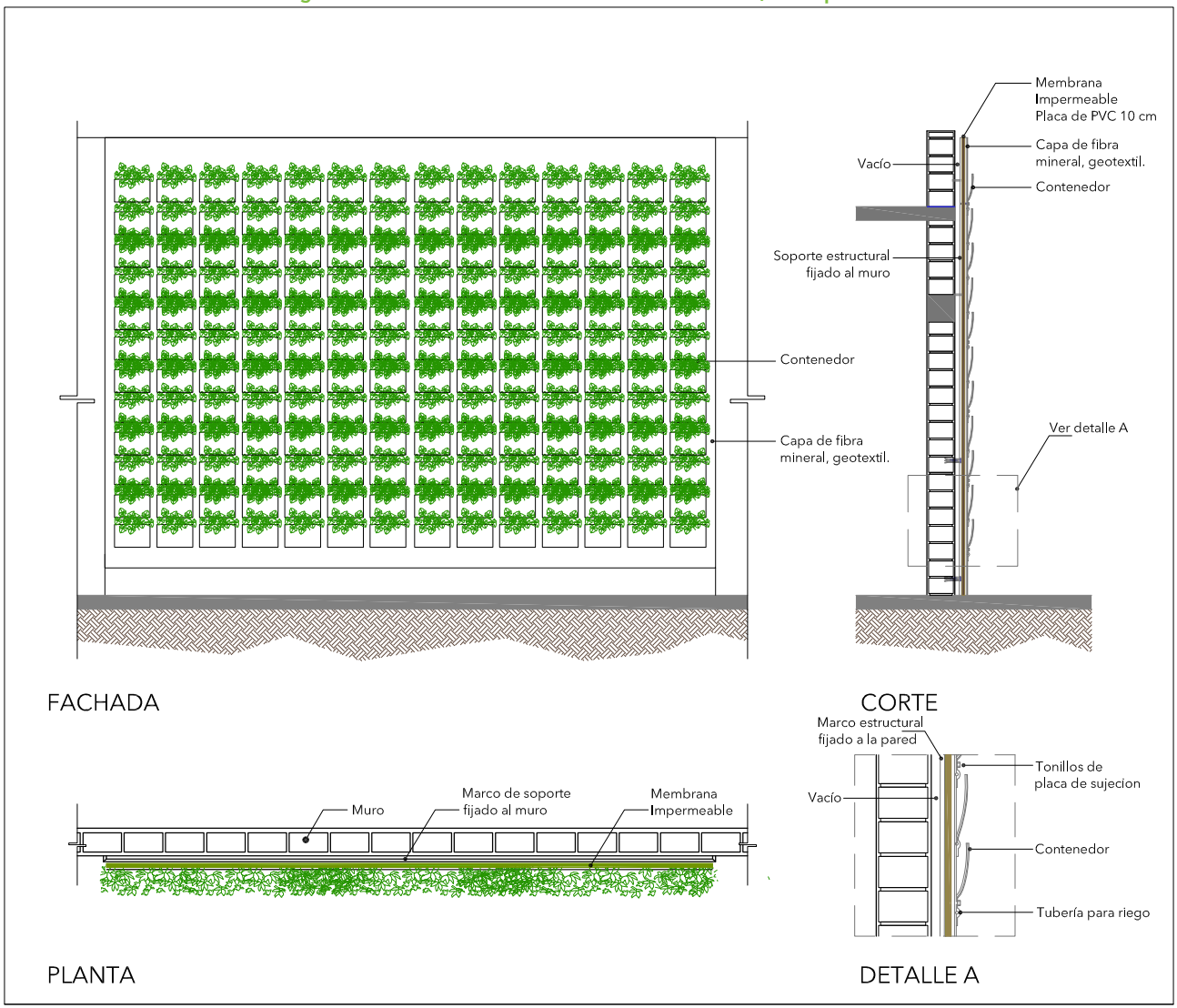


Figura 33. **Detalles constructivos de Muro Verde, hidropónico**



	Detalle Constructivo	CONTENIDO: Muro verde, Sistema hidropónico		NO. DE PLANO: IV-15
		ESCALA: 1:50	ACOTACION: Metros	FECHA: Dic 2016

Proceso constructivo

1. Fijación del anclaje.
2. Instalación de la membrana impermeable, a base de lámina de PVC, poliuretano o plástico.

Hidropónicos

1. Colocación de los contenedores o capas de fibra.
2. Instalación del sistema de riego y rebombeo.
3. Instalación del canalón recolector de agua.
4. Plantación de vegetación.
5. Prueba de funcionamiento.

Sustrato

1. Plantación de vegetación en los contenedores.
2. Colocación de los contenedores.
3. Instalación del sistema de riego.
4. Prueba de funcionamiento.

5.4.13. Matriz de Aplicación de Técnicas

A continuación (Tabla 12) se presenta una matriz que muestra diversas aplicaciones urbanas en las que se pueden aplicar las diferentes técnicas de I.V. Dependiendo de las aplicaciones, las técnicas tienen un uso adecuado, no adecuado o condicional. En algunos casos se indican especificaciones necesarias para implementar la técnica en la aplicación urbana.

Tabla 12. Matriz de Aplicación de Técnicas

Técnicas	Aplicación								
	Arriates en Banquetas	Camellones	Orejas	Glorietas	Áreas Verdes	Cursos de Agua	Laderas- Cerros	Estacionamientos	Edificios
Jardín de Lluvia	max. 2 m de ancho	max. 15 m de ancho	max. 1 m de ancho en arriate	max. 2 m de diámetro	max. 8 m² de área			max. 5% del área total	
Jardín Microcuenca	min. 2 m de ancho	min. 2 m de ancho	min. 1 m de ancho en arriate	min. 2 m de diámetro	min. 8 m² área. Lados min. 2 m			min. 5% del área total	
Pozo de Infiltración	min. 2 m de ancho	min. 15 m de ancho	Negativo - Inadecuado	min. 2 m de diámetro	Afirmativo - Adecuado		min. 12:1de pendiente	max. 2% del área total	
Cuenca/Bordo		min. 8% de pendiente			min. 8% de pendiente	min. 8% de pendiente	min. 8% de pendiente		
Drenaje Francés	min. 0.5 m de ancho	min. 0.5 m de ancho			min. 0.5 m de ancho			min. 0.5 m de ancho	min. 1.5 m distancia de cimentaciones
Pavimentos Permeables					Para áreas pavimentadas				
Presa Filtrante		min. 33% de pendiente			min. 33% de pendiente	min. 33% de pendiente	min. 33% de pendiente		
Tanques/ Cisterna									
Techos Verdes									
Muros Verdes					Soportes para enredaderas			Soportes para enredaderas	

Uso adecuado Uso no adecuado Uso condicionado*

*Se refiere a que otra técnica para esta aplicación puede ser más conveniente; económica o técnicamente.



Eduardo Hinojosa Robles
Centro de Rehabilitación y Educación Especial (CREE), Hermosillo, Sonora, México.
14 de enero, 2017
Jardín de Lluvia en una oreja que sirve de protección y confinamiento para parada de autobuses.

5.5. Especificaciones Adicionales

5.5.1. Niveles Críticos

Son los niveles de las intervenciones de I.V. en relación a los niveles de terreno y estructuras adyacentes. Es importante tener en cuenta estos niveles a la hora de diseñar ya que la protección de estructuras adyacentes y el funcionamiento adecuado de las técnicas dependen de esto en gran medida.

Dentro de las técnicas de suelo, es importante contemplar los niveles de los fondos, terrazas o taludes, bordos y desbordes. Para determinar los niveles adecuados se comienza definiendo el nivel más crítico, el cual generalmente corresponde a los cimientos de alguna edificación o a una vialidad adyacente, y de ahí se van estableciendo los niveles de las técnicas.

En la Figura 34 se ejemplifica una definición básica de niveles para un Jardín Microcuenca.

Figura 34. Niveles críticos en técnicas de suelo



Fuente: Adaptación de Lancaster y Marshall, 2008.

5.5.2. Disposición En Línea y Fuera de Línea

Las técnicas de Jardín Microcuenca y Jardín de Lluvia pueden estar dispuestas de dos formas que se denominan: En Línea y Fuera de Línea. Dependiendo de esta disposición, su funcionamiento puede variar y por ende, algunos de sus componentes estructurales también. A continuación se presenta una comparación de estas dos formas de disposición.

Tabla 13. Características de disposición En Línea y Fuera de Línea

	En Línea	Fuera de Línea
Definición	Se encuentran directamente expuestos o interceptando el flujo directo del agua.	Se encuentran fuera del flujo directo del agua, generalmente en paralelo a éste.
Ventajas	Tiene el potencial de captar y/o tratar más agua.	Típicamente no requiere de desborde ya que una vez saturado el sistema, el agua deja de entrar.
Esquemático		

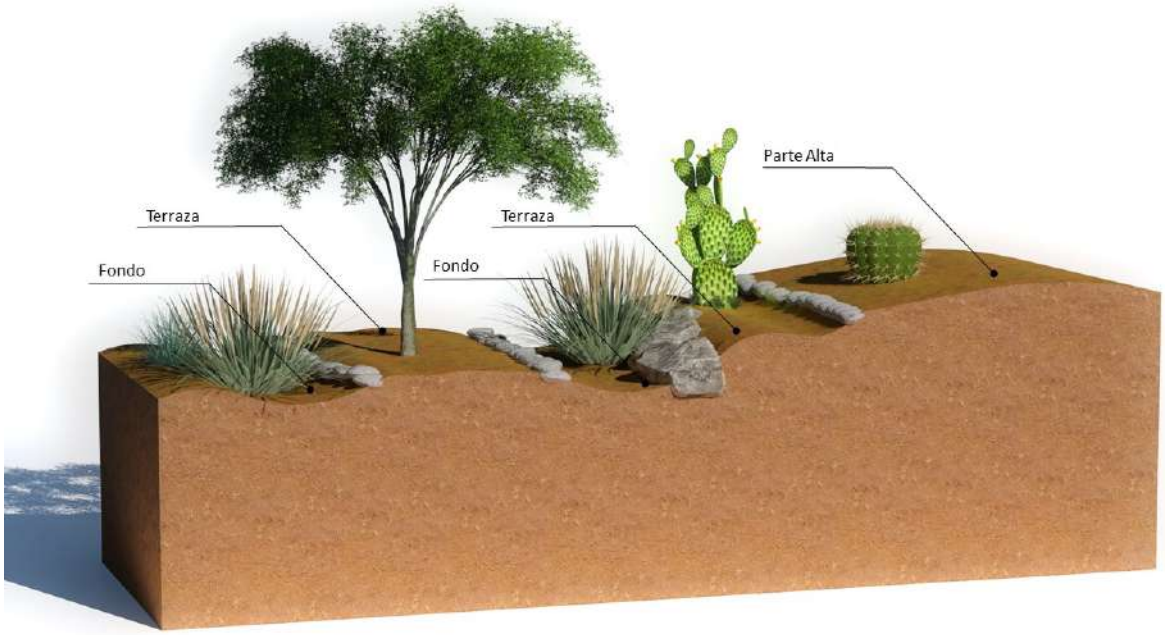
Fuente: Adaptación de Pima County, 2015.

5.5.3. Zonificación de Vegetación en Jardines Microcuenca, Jardines de Lluvia y Zanja-Bordo

Las técnicas de Jardín Microcuenca, Jardín de Lluvia y Zanja-Bordo pueden estar comprendidas por tres zonas principales (representadas en Figura 35). Éstas son: Fondo, Terrazas (o talud) y Parte Alta (es común que ésta sea un bordo). Las tres zonas varían en cuanto al tiempo que están inundadas en un evento de precipitación, en consecuencia también en cuanto a la humedad que hay disponible en ellas. Esto determina cuáles son las especies vegetales más adecuadas para cada zona ya que muchas plantas son susceptibles a pudrición, mientras otras prosperan al estar expuestas al contacto con agua por periodos prolongados. El óptimo desarrollo de la vegetación depende de su correcta ubicación dentro de las técnicas.

Es recomendable que la conformación de estas técnicas se lleve a cabo de forma que cuenten con dichas zonas. Así se aumenta la biodiversidad que pueden contener y por consiguiente, los servicios ambientales que aportan.

Figura 35. Zonas principales en técnicas de suelo



Fuente: Adaptación de Lancaster y Marshall, 2008.

5.5.4. Paleta Vegetal

En la elaboración de la paleta vegetal, la vegetación se clasifica con base en sus características y estrategias biológicas y ecológicas (gama de colores y texturas, dimensiones, forma de crecimiento, ciclo biológico, asociaciones, entre otros). Es indispensable para el diseño de paisajes y jardines, así como para el de I.V.

En la selección de especies vegetales para I.V. es importante tomar en cuenta los siguientes aspectos.

- **Selección de especies nativas.** Se considera su relevancia por la adaptabilidad que tienen a las condiciones ambientales locales. Su desarrollo futuro no depende de insumos externos, lo cual es parte de los objetivos de la I.V. Además, su uso es importante para incrementar y reforzar la biodiversidad local, ya que aporta múltiples servicios ambientales y promueve una identidad urbana y de paisaje propia del lugar.
- **Fisionomía en pleno desarrollo.** Cuando se lleva a cabo el diseño de paisaje de la I.V., es importante seleccionar y ubicar la vegetación tomando en cuenta la dimensión que tendrán las especies cuando estén completamente desarrolladas. De esta forma se asegura que cada individuo tendrá espacio suficiente para su óptimo desarrollo.
- **Requerimiento hídrico y tolerancia al contacto directo con agua.** Sirve para determinar la zona que las especies deben ocupar en las técnicas de I.V. (particularmente en las de suelo) para su óptimo desarrollo. También nos informa sobre las funciones que la vegetación puede cumplir en las técnicas (Ver Numeral 5.5.5).
- **Propiedades paisajísticas.** Es importante para diseñar la estética de paisaje. También proporciona información que se utiliza para asignar otras funciones a la vegetación como: barrera de vientos, disminución de asolamiento, aporte de sombras, refugio de biodiversidad, entre otras.
- **Utilidad.** Existen especies que además de sus propiedades ornamentales, tienen otros usos como producción de alimentos, materiales y/o medicinas, entre otros. Es común que los usos tradicionales de la vegetación nativa se desconozcan. Por esto, es fundamental retomar y difundir estos usos como forma de resaltar el valor de la vegetación nativa y de establecer una identidad biológica regional.

Las fichas de especies de la paleta vegetal deben contener tanta información como sea necesaria para cada caso. En la Figura 36 se muestra un formato de ficha con información básica para el diseño de I.V. y de paisaje. La Figura 37 muestra un ejemplo de ficha para una especie arbórea.

Figura 36. Formato de ficha de paleta vegetal



Nombre común

Nombre científico

Fisionomía

Altura

Diámetro copa

Diámetro tronco (altura de pecho)

Paisaje

Forma - Circular, cónica, irregular

Follage - Caducifolio o perennifolio

Corteza - Color, textura

Hojas - Forma, color

Flor - Estacionalidad, color, forma

Fruto - Estacionalidad, color, forma

Requerimiento hídrico

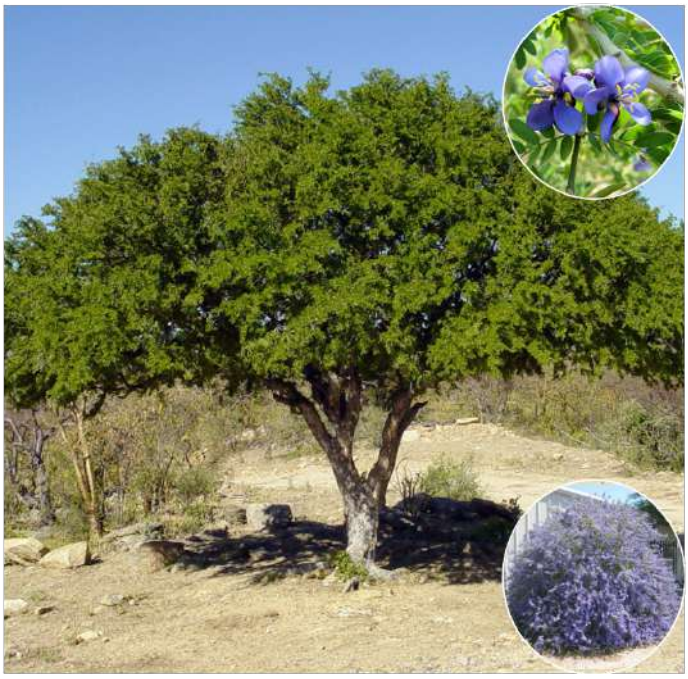
Requerimiento de exposición solar

Ubicación en la técnica

Crecimiento - Rápido, moderado, lento

Usos

Figura 37. Ejemplo de ficha de paleta vegetal para una especie de Hermosillo



Guayacán

Guaiacum coulteri

Fisionomía

Altura - 3 - 12 m

Diámetro copa - 3 - 8 m

Diámetro tronco (adp) - 0.5 m

Paisaje

Forma - Sombrilla irregular

Follage - Caducifolio en frío o sequía

Corteza - Gris/Café blancuzco

Hojas - Pinadas opuestas, verde claro

Flor - May-Jul, 5 pétalos, azul intenso

Fruto - Verano, circular 2.5 cm, rojo

Agua - Muy bajo

Sol - Exposición total

Ubicación en la técnica - Parte alta

Crecimiento - Lento

Usos - Hojas medicinales, efecto hipoglucemiante, Seris; pigmento azul de la resina, shampoo de la raíz, té contra disentería de la raíz.

5.5.5. Formas de Crecimiento de Vegetación, sus Funciones y Ubicación en las Técnicas

A continuación se presentan las distintas formas de crecimiento de vegetación que se consideran en este Manual, clasificadas en cuanto a su uso paisajístico, su función para las técnicas y su ubicación óptima dentro de éstas.

Tabla 14. Uso paisajístico, función y ubicación de las diferentes formas de crecimiento de vegetación

Forma de crecimiento		Uso Paisajístico	Función	Ubicación
1	**Árboles**	Es la vegetación de mayor dimensión y su función arquitectónica es primordial; enfatizan visuales o sirven de barrera visual, realce de edificaciones, vegetación que más contribuye a la identidad de paisaje.	Aportan permeabilidad profunda a la I.V. con sus raíces. Promueven el efecto "isla de fertilidad". Construyen suelo orgánico.	La mayoría de los árboles se desarrollan mejor en las partes altas de las técnicas o en las terrazas. Las raíces de estos se extienden más allá que su copa, lo que les permite acceder a humedad a mayores distancias.
2	**Arbustos**	Conforman el estrato intermedio entre árboles y especies de menores dimensiones. Aportan continuidad y solidez a barreras visuales, alineaciones para enfatizar visuales y remates visuales.	Suelen ser plantas pioneras, fungiendo como nodrizas de otras plantas. Fijan el suelo y evitan la erosión con su cobertura. Son hábitat de insectos, aves, reptiles y mamíferos pequeños.	Los niveles intermedios como terrazas o taludes de bordos, son los sitios más adecuados para los arbustos.
3	**Suculentas**	Crea remates visuales y brinda diversidad paisajista. Importantes en la creación de una identidad propia de paisaje. Son elementos escultóricos naturales.	Útiles para ocupar las áreas con menos humedad disponible. Flores y frutos son una fuente importante de alimento para vida silvestre.	Se desarrollan mejor en la parte alta donde están menos tiempo en contacto directo con el agua.

Forma de crecimiento		Uso Paisajístico	Función	Ubicación
4	**Pastos**	Son elementos de estética singular útiles como remates visuales o en arreglos de diversidad paisajista.	Conforman densas estructuras de raíces y tallos efectivas para filtrar contaminantes, fijar suelo y sedimentos, e incrementar la infiltración superficial de agua. Son plantas pioneras que en asociación con bacterias, fijan Nitrógeno atmosférico al suelo.	La zona del fondo es ideal para los pastos ya que se benefician con la exposición directa al agua. Su utilidad máxima se obtiene cuando se colocan inmediatamente después de las entradas de agua, donde la pueden limpiar antes de que se disperse en la técnica.
5	**Cubresuelos**	Conforman el estrato más bajo de los arreglos/ asociaciones vegetales, aportando textura y color a nivel del suelo.	Fungen como acolchado, reduciendo de forma importante la erosión y la evaporación.	Es conveniente plantarlos en el fondo o en las terrazas. Por sí mismos se extenderán a través de la técnica, inclusive a la parte alta.
6	**Enredaderas**	Usadas para cubrir estructuras o árboles, aportan efectos llamativos al brindar textura y color a elementos verticales, en estructuras tipo techumbre pueden aportar sombra. Sirven para extender el área verde más allá de los límites del espacio de plantación.	Pueden servir para cubrir suelos, haciendo las veces de acolchado orgánico. Ayudan a proteger la corteza de árboles o estructuras de edificaciones adyacentes.	Es recomendable ubicarlas junto a árboles que estén plantados en terrazas. Se pueden desarrollar también en el fondo o en la parte alta. En esta última, requerirán de riego por más tiempo hasta establecerse completamente.
7	**Hierbas**	Ocupan los estratos bajos, generalmente con floración densa y llamativa, produciendo una sensación de exuberancia. Cuando son anuales, ofrecen la posibilidad de contar con elementos sorpresa, que desaparecen, reaparecen y florean por temporadas.	Contribuyen de forma importante a la formación de acolchado orgánico. Ayudan en la retención de suelo y reducción de erosión. Son fuente importante de alimento para polinizadores.	Se desarrollan bien en el fondo y terrazas (o taludes). Con el tiempo se desarrollarán en toda la técnica, beneficiándose con el efecto de "isla de fertilidad" que aportan los árboles y arbustos.



Eduardo Hinojosa Robles
Calle Prof. Manuel Díaz, Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
21 de abril, 2017
Bulevar de Palo Verdes (Parkinsonia florida), especie nativa del desierto chihuahuense.

5.6. Configuraciones Urbanas

En este apartado se enlistaran gráficamente ejemplos de aplicaciones urbanas de la I.V.

Figura 38. Infrastructura Verde en estacionamientos



Figura 39. Jardines de lluvia vinculados por medio de drenaje francés en una vialidad



Figura 40. Ladera de cerro con aterrazado y zanja-bordos



Figura 41. Integración de técnicas de I.V. en un contexto urbano y natural




Presa filtrante
Zanja bordo
Asfalto filtrante
Jardín de lluvia
Ado pasto filtrante


6

Infraestructura Verde a Macro-Escala (escala urbana, de cuencas y subcuencas hidrológicas urbanas)

6.1. Condiciones de la I.V. a Macro Escala

6. Infraestructura Verde a Macro-escala (escala urbana, de cuencas y subcuencas hidrológicas urbanas)

Como se ha explicado en el Numeral 2.1 el concepto de I.V. se puede trabajar en un sentido más amplio. En éste, la I.V. abarca todos los elementos del paisaje que pueden ayudar a soportar la ecología de un territorio.

La intervención a macro-escala comprende por una parte extender las implementaciones de micro-escala hasta consolidar una red de I.V. en el territorio, y por otra parte conservar y reforzar los elementos naturales en el paisaje, como ríos, lagos, cañadas, cerros, entre otros.

En el caso de las ciudades mexicanas, estos elementos se han debilitado hasta fragmentar y en muchos casos perder los procesos ecológicos en el territorio urbano. La regla general es la de sobreexplotar los recursos naturales dentro de las ciudades, tanto que es necesario contar con un abastecimiento externo constante para hacerlas funcionar.

Sin embargo, existe una solución a esta realidad. Si se implementaran las técnicas de I.V. hasta conformar una red sólida de nodos y corredores que se extendiese a Macro-Escala, se podría lograr la recuperación de algunos de los procesos ecológicos que estaban presentes en el territorio antes de ser alterados.



Joaquín Murrieta Saldivar
Parque de Lluvia DIF, Nogales, Sonora, México
30 Junio, 2016
Proyecto demostrativo de retención de sedimentos con I.V. Implementado por WMG con apoyo de Frontera 2020.

6.1. Condiciones de la I.V. a Macro-escala

La concepción de ciudad implica infraestructuras que con el tiempo han ido incrementándose; red de agua potable y alcantarillado, sistema de colección de aguas de lluvia, tratamiento de aguas residuales domésticas, red vial interconectada y de gran cobertura, educación, atención de salud y actualmente, I.V.

Para la implementación de I.V. es necesario concebir los espacios verdes y su planificación como una tipología de uso por sí misma que entrega múltiples beneficios sociales, económicos y ecológicos (ver beneficios 3.2). Por lo tanto la I.V. es un eje estratégico en el desarrollo urbano, apoyándose en la sustentabilidad, donde ayuda a mantener ecosistemas viables y los beneficios asociados al bienestar humano y ambiental.

La implementación de la I.V. intenta reconciliar el crecimiento urbano, el bienestar social y la protección ambiental, al enfatizar los servicios ambientales en los espacios verdes, aportando todos los beneficios que se le adhieren.

Así mismo disciplinas como arquitectura del paisaje y ecología del paisaje, pueden acercar a la ciudadanía a un enfoque práctico para planificar e implementar estrategias de conservación de sistemas de espacios verdes. A su vez permite diversificar la aplicación de I.V., involucrando múltiples materiales, tecnologías, propósitos y escalas. Con base en lo propuesto por EEA (2011) y Landscape Institute (2009) la Tabla 15 muestra la diversidad de elementos que pueden ser considerados como parte de la I.V. a las diferentes escalas urbanas.

Tabla 15.Componentes del paisaje con potencial de infraestructura verde (a macro-escala)

Escala de barrio	Escala de ciudad	Escala regional
Calles arboladas	Ríos y llanuras de inundación	Áreas silvestres protegidas
Techos y muros verdes	Parques intercomunales	Parques nacionales
Plazas de barrio	Canales urbanos	Bordes costeros y playas
Jardines privados	Lagunas	Senderos estratégicos y de larga distancia
Espacios abiertos institucionales	Bosques urbanos	Bosques
Estanques y arroyos	Parques naturales	Fajas de resguardo en líneas de alta tensión
Derechos de paso de caminos	Frente de agua continuos	Red de carreteras y ferrocarriles
Peatonales y ciclo-rutas	Plazas municipales	Cinturón verde designado
Cementerios	Cerros	Tierras agrícolas

Escala de barrio	Escala de ciudad	Escala regional
Pistas deportivas	Grandes espacios recreativos	Ríos y llanuras de inundación
Zanjas de inundación	Esteros	Canales
Pequeños bosques	Terrenos abandonados	Campo abierto
Áreas de juego	Bosques comunitarios	Cordones montañosos
Quebradas	Sitios mineros en abandono	Territorio de propiedad común
Patios de escuelas	Tierras agrícolas	Acueductos y gaseoductos
Huertos	Vertederos	Fallas geológicas
Terrenos abandonados		Lagos

Fuente: Elaboración propia en base a EEA, 2011 y Landscape Institute, 2009.

A micro-escala es posible encontrar techos y muros verdes, jardines de lluvia, entre otros. En un principio el término de I.V. estaba centrado en la conservación y mantenimiento de ecosistemas naturales mediante una red de espacios verdes interconectados, no incluía el tipo de I.V. contemplado como micro-escala en este Manual.

A macro-escala, algunos componentes o tipos de I.V. corresponden a humedales, bosques, corredores ribereños y líneas de costa, entre otros. Estos tipos de I.V. son los que permiten mantener o restaurar procesos ecológicos claves para el funcionamiento a largo plazo de los territorios, haciendo compatibles y maximizando la salud de los ecosistemas y el bienestar social (Hellmund & Smith, 2006). En ambientes urbanos la necesidad de mantener ecosistemas en buen estado y funcionales que sostengan las actividades humanas es mucho mayor, y no solo en el sentido de actuar como soporte físico de instalaciones e infraestructura sino también como fuente de recursos naturales y como sumidero de energía y materiales; todo lo cual contribuye en último término a mejorar la calidad de vida de las personas.

Existen varios aspectos en el concepto de I.V. que hacen relevante su utilización para entender y administrar los espacios verdes urbanos:

1. **La inherente responsabilidad social de construir, administrar y mantener I.V. como elemento clave de la ciudad.** Al igual que cualquier otro tipo de infraestructura urbana, la I.V. o espacios verdes deben ser considerados en la dotación básica del soporte físico para el desarrollo social y económico. Los espacios verdes dejan de ser espacios residuales de los procesos de planificación urbana, para convertirse en parte de sus ejes estratégicos. Esto se puede abordar en planes maestros de infraestructura urbana que contemplen la I.V.

2. **Nuevos diseños de espacios verdes.** El diseño de los espacios verdes dentro de una red de I.V. a Macro-escala define objetivos que no se limitan a las funciones tradicionales recreativa y contemplativa de los parques y plazas. Esto resulta en nuevos diseños de los espacios verdes para los cuales se establecen objetivos que priorizan otro tipo de funciones (por ejemplo manejo de agua pluvial, refugio de biodiversidad, agricultura urbana, entre otros), que requieren diferentes métodos constructivos, modelos de gestión y normatividad específica.

3. **Incorporación de los beneficios en evaluaciones costo-beneficio de proyectos.** Desde la perspectiva de la I.V. es posible valorar económicamente muchos de los beneficios ofrecidos por los espacios verdes en las ciudades y con ello incorporarlos en las evaluaciones a las que se someten diversos proyectos urbanos. Lo anterior debería mejorar de manera importante las evaluaciones de proyectos destinados a la conservación, construcción y mantenimiento de espacios verdes al interior de la ciudad.

4. **Facilidad de entender el concepto de I.V. por asociación al término tradicional de infraestructura.** El concepto de infraestructura es entendido y apropiado socialmente, sobre todo en ambientes urbanos, lo que permite transferirlo con relativa facilidad al ámbito de los espacios verdes y entender su importancia y rol en la construcción de una ciudad funcional y sustentable.

5. **Demanda ciudadana por una distribución equitativa de la I.V.** Así como todos los sectores de una ciudad deben contar con infraestructura sanitaria y eléctrica, de la misma forma no deben existir áreas sin cobertura y acceso a I.V.

6. **I.V. como alternativa a la infraestructura gris para suplir necesidades básicas.** Mientras la infraestructura gris dá solución a un solo problema, la I.V. contribuye a solucionar múltiples problemas y ofrece beneficios a corto, mediano y largo plazo.

7. **Concepción de la I.V. como un sistema conectado e integrado.** Este sistema debe permitir el movimiento de fauna, semillas, agua, aire y personas entre los nodos o núcleos por medio de una red de corredores verdes.

8. **Importancia social e institucional de la I.V.** Se debe alcanzar el punto en que la población y el gobierno tomen conciencia de la importancia y necesidad de la I.V. para que se conciba como un servicio básico público. Además, se debe trabajar en crear comunidad en todo el proceso de implementación de I.V., de esta forma al integrar a la sociedad y al fomentar el sentido de apropiación se está garantizando la permanencia de la I.V.

9. **Incorporación de I.V. en el modelo de calle completa.** Actualmente se reconoce la necesidad de priorizar la movilidad no motorizada si una ciudad busca el desarrollo sustentable. De esta forma se propone el modelo de calle completa, en el que todos los medios de transporte tienen su espacio adecuado para transitar pero en el que se priorizan los medios de transporte no motorizado. Una forma de optimizar el modelo de calle completa es la integración de I.V., con lo que se consigue aumentar la comodidad para los peatones y ciclistas. Además, una vialidad que incorpora I.V. en su recorrido, cuenta con un sistema eficiente para el manejo de agua pluvial, reduciendo así los daños que se pueden presentar por desgaste de infraestructura vial ocacionado por las escorrentías y el depósito de sedimentos.



Antes



Después

Trust for Public Land
J.H.S. 157 Stephen A. Halsey School, New York, New York, E.U.A.
Antes: 20 de septiembre, 2012. Después:15 de septiembre, 2014
Transformación de escuela: se equipó con técnicas de I.V. para formar parte de la red de I.V. a Macro-escala y sus patios se abrieron para ser accesibles al público.

7

Metodología para implementar I.V. a Macro-escala

7.1. Información para Diagnóstico
7.2. Gestión Participativa
    7.2.1. Dinámica FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas)
    7.2.2. Geolocalización del análisis FODA
7.3. Plan Maestro o Estratégico
7.4. Ejecución
    7.4.1. Seguimiento y Evaluación de I.V. a Corto y Largo Plazo

7. Metodología para implementar I.V. a Macro-escala

En este numeral se sientan las bases de la metodología que se plantea para la implementación de I.V. a macro-escala.

Todas las ciudades son diferentes por lo que sus posibilidades y necesidades en cuanto a la implementación de I.V. son específicas en cada una. Una metodología para implementar I.V. a escala de ciudad debe incorporar todos los elementos necesarios para llevar a cabo la planeación y la programación de acciones que permita desarrollar las técnicas de I.V., así como la conservación y reforzamiento de espacios verdes. En este proceso (ver Figura 42) se deben identificar los actores que son necesarios, así como las estrategias a seguir para garantizar la permanencia de las políticas públicas.

Figura 42. Pasos principales de una metodología para implementar I.V. a Macro-escala



7.1. Información para Diagnóstico

Es conveniente que el diagnóstico cuente con tanta información sobre las dinámicas y características urbanas como sea posible. Sin embargo la falta de datos sobre alguna condición no debe ser limitante para desarrollar un programa de implementación de I.V. Entre los puntos que el diagnóstico puede incluir están los siguientes:

- Características físicas.
    - Clima y C.C.
    - Hidrología [delimitación y caracterización de cuencas y subcuencas urbanas]
    - Identificación de volumen y dirección de escorrentías
    - Suelos (geología y edafológia)
    - Topografía
    - Cobertura vegetal
    - Infraestructura vial
    - Infraestructura de servicios básicos
    - Presencia de contaminantes
    - Riesgos naturales y vulnerabilidad
    - Superficie permeable e impermeable urbana
- Caracterización de elementos sociales, económicos y demográficos vinculados a la ocupación del suelo.
- Análisis normativo y reglamentario existente.

7.2. Gestión participativa

Como parte de la metodología, ayudará a fundamentar la toma de decisiones para la óptima incorporación de I.V. por medio de un modelo de planeación estratégica, así como de la inclusión de actores locales que fortalezcan la toma de decisiones informadas y la apropiación de criterios de sustentabilidad.

Entre las ventajas que se pueden obtener se encuentran:

- Aprendizaje conjunto y continuo de los grupos sociales participantes
- Diseño de políticas públicas
- Establecimiento de vínculos institucionales

La Gestión Participativa incluye los siguientes puntos:

1. Integrar un grupo de trabajo para la definición de las estrategias y acciones que se realizarán para la implementación de I.V. Se sugiere que se considere tanto las instancias vinculadas con el desarrollo urbano de planeación, obra, mantenimiento, vinculación con ciudadanos así como prevención del riesgo y medio ambiente, a fin de formar un grupo de trabajo interdisciplinario y considerarlo como un mecanismo de transversalidad de una política pública.
2. Establecer enlaces de apoyo e integración del grupo consultivo en las áreas de intervención y en la totalidad del asentamiento donde se va a realizar la acción demostrativa táctica (piloto), así como para toda obra de I.V. posterior. Para esto, se elabora un directorio así como un sistema de comunicación remota (internet) que posibilitará un constante diálogo y comunicación entre los actores.
3. Realizar un Taller de análisis (en este caso se propone una dinámica FODA, descrita en el Numeral 7.2.1) para la identificación de problemas y posibilidades, considerando la participación de los sectores gubernamental, académico, productivo, social y ciudadano, incluyendo aquellas organizaciones de la sociedad civil organizada.
4. Procesar la información producto del taller para la identificación de retos y oportunidades de implementación de I.V.



Tania Molina Tinoco
Hotel Fray Marcos de Niza, Nogales, Sonora, México
22 de agosto, 2016
Taller de Manual de Lineamientos de Diseño de I.V.; Geolocalización de FODA

7.2.1. Dinámica FODA (Fortalezas, Oportunidades, Debilidades, Amenazas)

La matriz FODA es una herramienta de análisis que puede ser aplicada a cualquier situación, individuo, organización, programa, empresa, que esté actuando como objeto de estudio en un momento determinado del tiempo. El objetivo del análisis FODA, consiste en identificar los aspectos positivos y negativos dentro de la organización (fuerzas y debilidades) y fuera de ella (oportunidades y amenazas). Éste puede ayudar tanto en la planeación estratégica, como en la toma de decisiones.

Para comenzar un análisis FODA se debe hacer una distinción crucial entre las cuatro variables por separado y determinar qué elementos corresponden a cada una.

Fortalezas. Características internas positiva que habilita una ventaja competitiva.

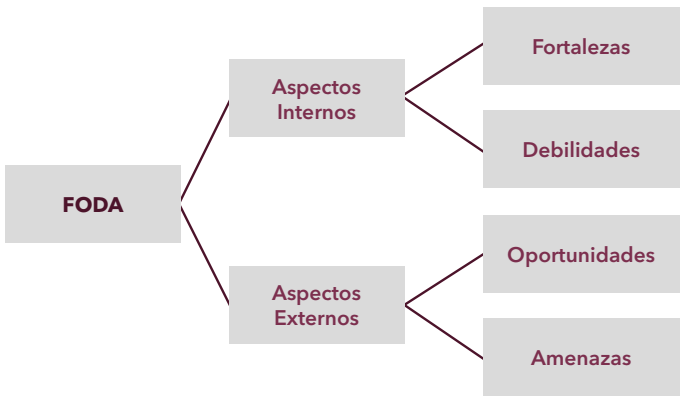
Debilidades. Característica interna negativa que puede dar lugar a una desventaja competitiva.

Oportunidades. Factor externo que puede beneficiar a la organización si la sabe aprovechar.

Amenazas. Factor externo que puede perjudicar a la organización si no se prepara adecuadamente.

Tanto las fortalezas como las debilidades son internas de la organización, por lo que es posible actuar directamente sobre ellas. En cambio las oportunidades y las amenazas son externas, y solo se puede tener injerencia sobre ellas modificando los aspectos internos (ver Figura 43).

Figura 43. Clasificación de las variables de un FODA



La matriz FODA es un instrumento de ajuste que ayuda a la organización a desarrollar cuatro tipos de estrategias, y se lleva a cabo en los siguientes pasos:

1

- Hacer una lista de las oportunidades externas clave.
- Hacer una lista de las amenazas externas clave.
- Hacer una lista de las debilidades internas clave.
- Hacer una lista de las fortalezas internas clave.

2

- Adecuar las fortalezas internas, a las oportunidades externas y registrar las estrategias FO (Fortalezas-Oportunidades) resultantes en la celda adecuada
- Adecuar las debilidades internas a las oportunidades externas y registrar las estrategias DO (Debilidades-Oportunidades).
- Adecuar las fortalezas internas a las amenazas externas y registrar las estrategias FA (Fortalezas-Amenazas).
- Adecuar las debilidades internas a las amenazas externas y registrar las estrategias DA (Debilidades-Amenazas).

Nota: El número recomendado de Fortalezas, Debilidades, Oportunidades y Amenazas, es de 8 a 10, así como contar con una misma cantidad en cada caso.

Para crear las estrategias se deben hacer los cruces de las variables de la siguiente manera (ver formato en Tabla 16):

1. En el casillero "Estrategias FO", se cruzan las fortalezas con las oportunidades para generar estrategias que aprovechen las oportunidades en función de las fortalezas. Para fundamentar la estrategia decidida, al final y dentro de un paréntesis, se anotará la fortaleza y la oportunidad que generaron la estrategia.
2. En el casillero "Estrategias FA", se cruzan las fortalezas con las amenazas, para determinar estrategias que aprovechen estas fortalezas para evitar, reducir, bloquear o transformar las amenazas.

3. En el casillero "Estrategias DO", se cruzan las debilidades con las oportunidades, para buscar estrategias que aprovechen las oportunidades que se presentan para superar o desviar las debilidades de la organización.

4. En la parte correspondiente a "Estrategias DA", se cruza cada una de las debilidades con las amenazas para generar estrategias que reduzcan las amenazas que inciden con las debilidades.

5. Cada estrategia puede ser producto del cruce de dos o más variables y debe tener una justificación. Así por ejemplo, si se dedujo una estrategia de la fortaleza 4, la fortaleza 5 y la oportunidad 2, al final del enunciado de la estrategia se anotará entre paréntesis (F4, F5, 02).

En la medida en que se incrementan las fortalezas se aprovechan mejor las oportunidades, en tanto que disminuyen las debilidades y se pueden bloquear las amenazas, esto es, se crea una sinergia positiva. Por el contrario, si las debilidades se incrementan, no se aprovechan las oportunidades y las amenazas aumentan, lo que reduce las fortalezas.

La dinámica se lleva a cabo organizando a los participantes en mesas de trabajo con temas específicos, por ejemplo Desarrollo Social y Económico, Medio Ambiente, Desarrollo Urbano, por mencionar algunos.

Tabla 16. Matriz de estrategias a desarrollarse con el FODA

Factores Internos / Factores Externos	**Fortalezas**	**Debilidades**
Oportunidades	FO (Maxi-Maxi) 1 Estrategias para aprovechar las **fortalezas** y las **oportunidades**	DO (Mini-Maxi) 2 Estrategias para minimizar **debilidades** y aprovechar las **oportunidades**
Amenazas	FA (Maxi-Mini) 3 Estrategias para aprovechar las **fortalezas** y minimizar las **amenazas**	DA (Mini-Mini) 4 Estrategias para minimizar tanto las **debilidades** como las **amenazas**

Fuente: Adaptación de Aceves, 2004.

La Tabla 17 muestra un ejemplo de estrategias desarrolladas a partir de un FODA.

Tabla 17. Ejemplo de estrategias de FODA obtenidas del taller de I.V. impartido en Nogales, Sonora, 2016

Interno / Externo	**Fortalezas**	**Debilidades**
	F1. Posibilidad de hacer campañas de difusión para dar a conocer los beneficios de la IV. **F2.** Vinculación binacional para apoyos técnicos y biodiversidad. **F3.** Posibilidad del Municipio para hacer convenios con otras instancias y organismos.	**D1.** Falta de forestación urbana **D2.** Limitada disponibilidad de agua potable **D3.** Rigidez institucional para adoptar IV
Oportunidades **01.** Existencia de fondos internacionales para la mitigación del cambio climático. **02.** Organización de la Sociedad Civil. **03.** Vegetación regional de bajo consumo.	**Estrategias FO** Realizar convenios con aquellos organismos que financien estudios y proyectos para la mitigación del cambio climático **(F2,01)**	**Estrategias DO** Integrar un consejo ciudadano para la implementación de IV, con representación de la sociedad civil, académicos y sectores productivos. **(D3,02,)**
Amenazas **A1.** Desequilibrio ecológico por cambio climático **A2.** Climas extremos de la región **A3.** Sobre explotación de los mantos acuíferos	**Estrategias FA** Crear un Fondo Binacional para el desarrollo de actividades preventivas y de mitigación de los efectos del cambio climático. **(F2,A1)**	**Estrategias DA** Implementar IV para la infiltración de agua pluvial en los mantos acuíferos. **(D2,A3)**

7.2.2. Geolocalización del análisis FODA

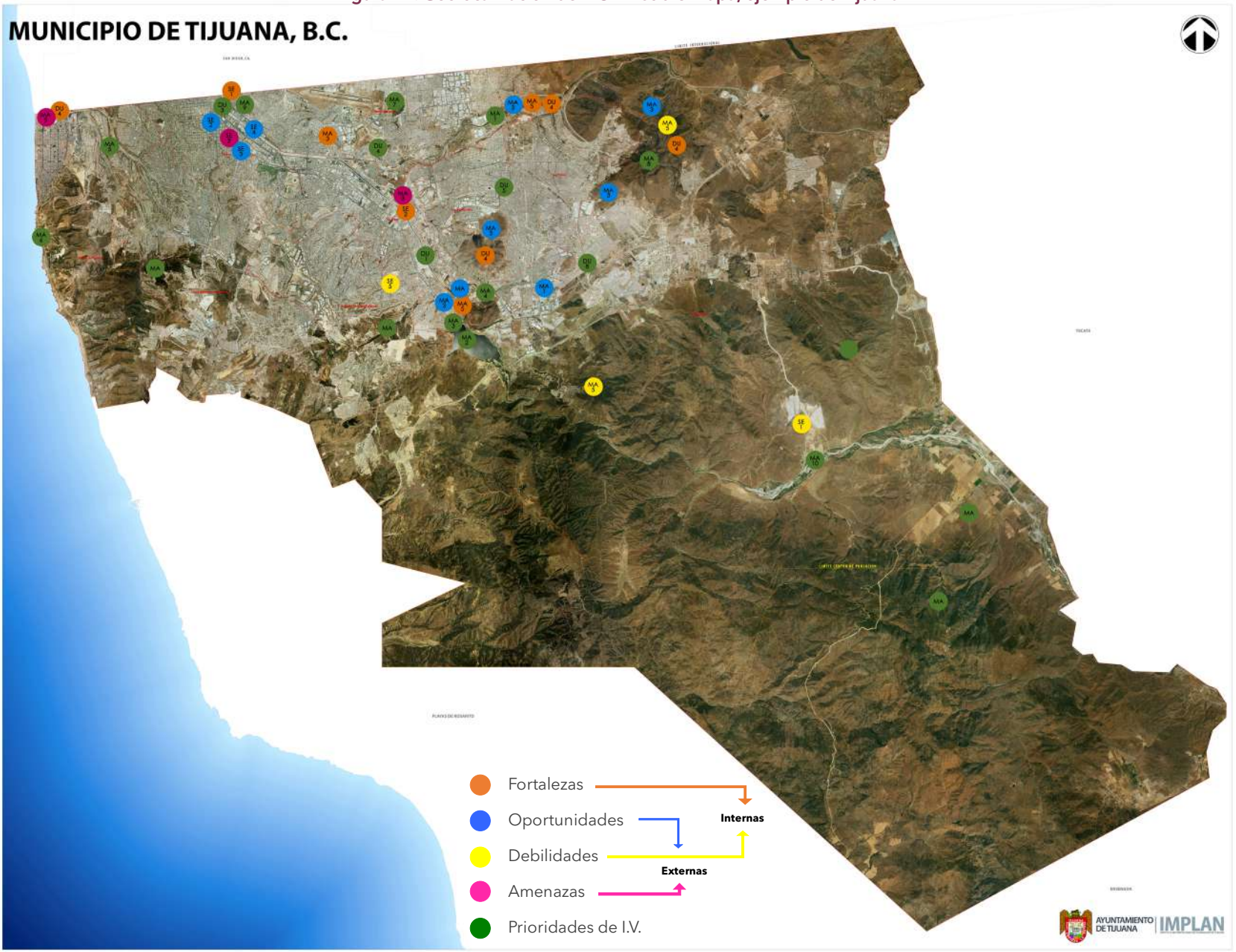
Una vez que se vaciaron los FODAS en las diferentes mesas temáticas, se le pidió a los participantes que ubicaran espacialmente (utilizando una lona donde se imprimió una imagen aérea de la ciudad) las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas, siempre que fuera posible. De igual forma se les pidió que ubicaran los puntos donde consideraban que la I.V. era más necesaria o prioritaria. Este ejercicio tuvo la finalidad en primer lugar de comunicar la información entre los participantes, y en segundo de aportar información útil para la planeación de I.V. a escala de ciudad.

Para la geolocalización, una vez se enumeraron los elementos del FODA cada mesa contó con calcomanías de distintos colores que representaban dichos elementos a ubicarse en el mapa de la ciudad (ver Tabla 18, ejemplo de Tijuana). Un ejemplo del resultado, en este caso del taller impartido en Tijuana, Baja California, se muestra en la Figura 44.

Tabla 18. Ejemplo de FODA elaborado en la ciudad de Tijuana

No.	FORTALEZAS	OPORTUNIDADES	DEBILIDADES	AMENAZAS
1	Vinculación binacional para apoyo técnico y científico	Reuso de agua tratada	Sociedad en general con poco conocimiento de la vegetación y ecosistemas de la región.	Falta de continuidad en seguimiento de proyectos y planes en la transición de gobiernos.
2	Resistencia, servicios ambientales y biodiversidad.	Vinculación binacional por compartir un ecosistema	Rigidez institucional para adopción de infraestructura verde y falta de coordinación entre sectores.	Esquema de desarrollo urbano que es expansivo de acuerdo a la construcción de viviendas.
3	Organización de la sociedad civil.	Existen áreas naturales para conservar y restaurar.	Pocos recursos disponibles para implementación de infraestructura verde.	Especulación sobre la tenencia en cuanto al cambio de uso de suelo.
4	Existencia de ejercicios locales como guía	Existencia de mecanismos específicos que permiten el acceso a los recursos y guías y manuales.	Incosistencia en implementación de reglamento y falta de equipo técnico.	Cambio climático por incertidumbre y mitigación de sequía.
5	Existencia de marco legal estatal, local y federal, que contemplen la instalación	Transición generacional en conocimiento ambiental.	Áreas de conservación y usos naturales en terrenos provados	Vulnerabilidad a plagas por malas prácticas forestales o de comercio.

Figura 44. Geolocalización del FODA sobre mapa, ejemplo de Tijuana



7.3. Plan Maestro o Estratégico

El Plan Maestro ó Estratégico es el instrumento de planeación normativo y operativo para la implementación de I.V. Una vez que se cuenta con la información de diagnóstico y los resultados de la Gestión Participativa, se define el contenido y los alcances del Plan Maestro. La programación de acciones debe estar contenida en este instrumento normativo y considerar los plazos para su ejecución, instancias involucradas, denominación de la acción, presupuesto, ubicación por unidad territorial y tipo de I.V. que se implementará.

El contenido mínimo recomendado del documento es el siguiente:

1. **INTRODUCCIÓN**

    1.1. Objetivo General y específicos

    1.2. Antecedentes de I.V. y descripción general de la necesidad de elaborar este instrumento normativo

    1.3. Beneficios

2. **FUNDAMENTACIÓN JURÍDICA FEDERAL, ESTATAL Y MUNICIPAL**

    Marco jurídico para la implementación de infraestructura verde así como su alineación con las políticas públicas de los tres órdenes de gobierno.

3. **DIAGNÓSTICO**

    3.1. Medio Físico Natural

        3.1.1. Hidrología

        3.1.2. Cuencas (Delimitación, Área Permeable no urbanizada)

        3.1.3. Subcuencas (Delimitación y detalle de escurrimientos)

        3.1.4. Topografía a escala 1:50,000

        3.1.5. Edafología y geología con análisis de capacidad de infiltración.

3.1.6. Climatología y C.C.

3.1.7. Síntesis del medio físico natural

3.2. Medio Físico Construido

3.2.1. Infraestructura de drenaje pluvial existente (Red colectora subterránea y superficial existente)

3.2.2. Drenaje pluvial superficial (Vialidades existentes con escurrimientos pluviales consideradas calles canal)

3.2.3. Déficit de Pavimentación

3.2.4. Infraestructura Básica existente

3.2.5. Zonificación Primaria (Área Urbana, Urbanizable y No urbanizable)

3.2.6. Zonificación Secundaria (Usos, Reservas y Destinos de Suelo)

3.2.7. Síntesis del medio físico construido

3.3. Medio Social y Económico

3.3.1. Densidad de Población y Vivienda

3.3.2. Caracterización de zonas productivas

3.3.3. Pobreza y exclusión social

3.3.4. Actividades productivas

3.3.5. Riesgo y vulnerabilidad

3.3.6. Síntesis del medio social y económico

4. ESTRATEGIA

Políticas, estrategias y líneas de acción así como las etapas de aplicación que deben establecerse para garantizar la implementación de I.V. en el área de intervención. Considerar su aplicación en los bienes inmuebles del dominio público y del dominio privado.

5. NORMATIVIDAD TÉCNICA

5.1. Tipología de técnicas de I.V. que se van a utilizar

5.2. Características de diseño y constructivas

5.3. Determinación de áreas de aplicación

Establecer políticas, criterios y metodologías para la planeación y diseño de I.V., que permitan la correcta implementación y la sustentabilidad de las diferentes tipologías en la diversidad de contextos urbanos.

6. PROGRAMACIÓN

La programación deberá definir la denominación de la acción, priorización de acciones, tipología de I.V., Unidad Territorial de aplicación, unidad de medida o producto esperado (proyecto, obra, documento, entre otros), actores/ejecutores participantes y definición de corto, mediano y largo plazo, así como grado de prioridad.

7. DEFINICIÓN DE PROYECTOS DETONADORES Y PRIORITARIOS.

Esto permitirá visualizar las metas en horizontes temporales así como áreas de intervención que requieren acciones y gestión para su atención inmediata, se recomienda que estas estén sustentadas en la información de diagnóstico y en el proceso de gestión participativa de consulta a la ciudadanía e instancias participantes en los talleres FODA.

8. EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO

Determinar los mecanismos de seguimiento para la aplicación del programa así como la evaluación de acuerdo a indicadores operativos y de impacto.

9. GESTIÓN PARTICIPATIVA

La instancia responsable de su elaboración debe realizar dos talleres, el primero será para la presentación de los puntos 1, 2, 3 y 4 e incluirá un proceso de identificación de acuerdo a FODA así como acciones prioritarias para considerarse en la elaboración de la normatividad y la programación. Este taller se realizará antes del periodo de consulta. El segundo taller se realizará para la presentación del documento definitivo, posterior al periodo de consulta.

En ambos casos se apegará a realizar los talleres con participantes de los diferentes sectores (gubernamental, social, productivo, académico) como parte de un ejercicio plural e incluyente en la toma de decisiones.

Así mismo se recomienda establecer mecanismos como consejos, comités o grupos de trabajo que fortalezcan el seguimiento del cumplimiento de las acciones establecidas en el Plan o Programa.

10. GLOSARIO

Debe incluirse a fin de compartir la conceptualización y términos utilizados en el instrumento

11. FUENTES DE INFORMACIÓN

Sirven para fundamentar la calidad y veracidad de la información.

12. ABREVIATURAS, SIGLAS Y ACRÓNIMOS

Son auxiliares para la comprensión del texto

13. ANEXO GRÁFICO (SIG formato shape con base de datos adjunta)

Esto es muy recomendable considerando que los Sistemas de Información Geográfica también constituyen una forma gráfica de sustentar la toma de decisiones. Por su mismo formato son adicionalmente concentradores de bases de datos que permiten análisis geoespaciales.

14. LISTA DE PLANOS

Este debe ser presentado como inventario e índice para la mejor ubicación de la información y estrategias específicas que deriven del instrumento.

Productos de la implementación del Programa o Plan de I.V. Análisis de impacto

Informe de impacto a nivel de unidad territorial, considerando la micro-escala como la zona de intervención primaria y la macro-escala como la unidad territorial de análisis que puede ser el asentamiento humano, la localidad, el municipio, la cuenca o la subcuenca. Esto permitirá definir el éxito de la implementación, considerando todos los aspectos tales como servicios ambientales, sociales, políticos, de participación ciudadana y económicos.

Acopiar, registrar y seleccionar datos para determinar la calidad y cantidad de información necesaria para establecer criterios de aplicación de los lineamientos técnicos de diseño de I.V. así como la generación de diagnósticos de las zonas de intervención.

Determinar si la base normativa y reglamentaria para la fundamentación, operación y apropiación de los lineamientos técnicos es funcional y operativa y en su caso proponer adecuaciones a la misma.

7.4. Ejecución

La metodología cierra con la ejecución de obras de I.V. Una vez se ha desarrollado un Plan Maestro, se pueden determinar los sitios para la ubicación de las acciones demostrativas tácticas (piloto). Idealmente se ejecuta una acción demostrativa táctica para cada una de las técnicas o tipologías urbanas. La finalidad de contar con proyectos pilotos es la de difundir y fomentar su apropiación por parte de la sociedad. Cuando ésta se ha familiarizado y apropiado de la I.V., resulta mucho más fácil su reproducción y mantenimiento.

Para su ejecución debe:

- Incorporar los elementos de diseño en el catálogo de conceptos como parte de los proyectos así como el presupuesto necesario para la realización.
- Generar un banco de proyectos para su ejecución.
- Difusión de las técnicas de I.V. entre los profesionales especializados.
- Vigilar la correcta aplicación de los criterios de diseño, tanto en proyectos como en obra ejecutada.

7.4.1. Seguimiento y evaluación de I.V. a corto y largo plazo

Para darle un seguimiento y evaluar las técnicas de I.V. es necesario llevar a cabo la aplicación de sistemas de indicadores. El objetivo final es estimar la eficacia de la I.V. dentro de las zonas urbanas, tomando en cuenta los siguientes objetivos particulares:

- Contar con indicadores que permitan medir la sostenibilidad y los beneficios ambientales que presta la I.V.
- Contar con un instrumento de análisis y diagnóstico, de fácil comprensión y aplicación para los involucrados.
- Ofrecer una visión documentada de la situación de los procesos de sostenibilidad, sus efectos y las posibles disfunciones generadas.

El sistema de seguimiento tiene como objetivo la comprobación del cumplimiento de las expectativas ante la utilización de las técnicas de la I.V. Además deberá Identificar la base normativa y reglamentaria para la implementación de la I.V. tratando de fortalecer su fundamentación, operación y la apropiación de los lineamientos técnicos.

En México existe concurrencia en materias como asentamientos humanos, equilibrio ecológico, cambio climático, desarrollo forestal, aguas nacionales y protección civil, por lo que las leyes generales que regulan estos temas distribuyen competencias y atribuciones entre los tres niveles de gobierno. Esta complejidad normativa debe ser reconocida y atendida para asegurar la eficacia de las acciones que en materia de I.V. se desarrollan en este Manual.

Es por esto que la COCEF, con el objetivo de inducir proyectos de I.V., en mayo del 2015 llevó a cabo una consultoría para desarrollar el estudio del marco legal existente aplicable a municipios fronterizos, en el que se analizó a profundidad la normatividad aplicable (disponible en: http://www.cocef.org/uploads/files/marco_legal_-_estudio_iv_en_6_ciudades_fronterizas_-_julio_2015.pdf). Para el año 2016 solicitó asesoría legal para la incorporación de I.V. en el marco jurídico municipal existente, en tres municipios mexicanos fronterizos (Tijuana, Nogales y Ciudad Juárez). Como resultado, además del análisis legislativo se elaboró una Guía de Acciones Legales para la implementación de I.V. en el marco jurídico de municipios mexicanos fronterizos y que así cualquier municipio con esfuerzos propios pudiera adecuar su marco jurídico para permitir la implementación efectiva de I.V.

ANEXO 1. Cálculos Relevantes

Cálculos de Captación de Agua Pluvial

En esta sección se presentan ejemplos para determinar la capacidad de captación pluvial para algunas de las técnicas de infraestructura verde.

Componentes

Para llevar a cabo los cálculos tenemos tres componentes importantes:

1. Área de captación, que es la superficie sobre la cual cae la lluvia o bien, la porción de suelo que recibe una determinada cantidad de lluvia y que puede ser medida en cualquier unidad de área.
2. La lámina de precipitación, que es la altura de lluvia que se presenta en un evento cualquiera.
3. El coeficiente de escurrimiento, el cual depende de la superficie sobre la cual avanza la escorrentía.

Cálculos de área de captación

Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta la siguiente tabla con un listado de fórmulas que se emplean para calcular el área de captación de las formas geométricas más usuales.

Nota: Para efectos del presente Manual, se empleará el Sistema Métrico Decimal.

Tabla 19. Fórmulas para calcular área de figuras geométricas básicas

Forma geométrica	Fórmula	Unidad
Cuadrado/Rectángulo	$A = a \times l$	m^2
Triángulo /T. rectángulo	$A = (b \times l)/2$	m^2
Círculo	$A = \pi \times r^2$	m^2

Donde:
A = Área a = ancho l = largo r = radio π = 3.1416

Lámina de precipitación

Existen varias opciones para determinar la lámina de precipitación para cualquier evento:

- Mediciones in situ.
- Mediante registros de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA).
- Por medio de estimaciones.

Mediciones in situ

Es una forma de estimar la cantidad de agua que cae en una unidad de tiempo en un lugar específico. Para lograr una aproximación más confiable, es recomendable llevar a cabo el mayor número de registros que sean posibles.

Es conveniente contar con equipo que nos permita medir con mayor exactitud la precipitación. Por ejemplo, el pluviómetro mide la precipitación en un lugar durante un tiempo determinado.

Por otro lado, el pluviógrafo además de medir la cantidad, registra en un gráfico el comportamiento de la precipitación en un intervalo de tiempo mediante un sistema de grabación mecánico.

Registros de la CONAGUA

Otro medio por el cual se puede contar con información precisa de precipitación en la localidad es a través de la CONAGUA o de los organismos estatales y/o municipales de manejo de agua. Estas dependencias cuentan con una serie de registros históricos de precipitación local, además de temperaturas mínimas y máximas.

Estimaciones

Además de las anteriores, se puede estimar la precipitación de la siguiente manera:

- Para cada evento de 10 milímetros de precipitación, en un área de 100 metros cuadrados, se pueden captar 1,000 litros de agua.
- Para cada evento de 10 milímetros de precipitación, en un área de 10,000 metros cuadrados, se pueden captar 100,000 litros de agua.

Coeficientes de escurrimiento

Cuando se están determinando cálculos de escorrentías, siempre se involucra un factor de escurrimiento superficial que está directamente relacionado con la cantidad de agua que fluye sobre una superficie. El escurrimiento resultante depende de la rugosidad de la superficie sobre la cual fluye, a mayor rugosidad menor será el flujo y mayor es la infiltración o evaporación de agua, y viceversa. De esta forma el coeficiente de escurrimiento varía.

En la Tabla 20 se presenta una relación de superficies básicas y sus coeficientes de escurrimiento.

Tabla 20. Coeficientes de escurrimiento de diferentes superficies

Coeficientes de escurrimiento	
Superficie	**Factor de escurrimiento**
Techos de losa o metal	0.80 – 0.95
Pavimento	0.90 -0.95
Suelo sin vegetación	0.20 – 0.75
Suelo con vegetación	0.10 – 0.60
Pasto	0.05 – 0.35
Gravas	0.20 – 0.75

Fuente: Adaptación de Lancaster y Marshall, 2008, y Waterfall, 2006.

Ejemplos Prácticos

Caso 1: Jardines de lluvia

Para saber cuánta precipitación se puede captar con un jardín de lluvia. Éste tiene un ancho de 0.80 metros y una longitud de 3.60 metros, una profundidad de microcuenca promedio de 20 centímetros[3], con una capa de sustrato de 0.5 m y una capa drenante de 0.4 m. El caso se presenta para una zona desértica de Sonora, ¿Qué volumen podrá almacenar este jardín de lluvia?

Nota: en el presente caso no se utiliza un factor de escurrimiento ya que solo se considera el agua que cae sobre la técnica.

Procedimiento

1. **Se calcula el área del jardín aplicando la fórmula para figuras geométricas rectangulares:**

$$A = a \times l$$

Donde:

A = Área de captación.

a = ancho

l = largo

A = Área de captación

l = 3.60 m

a = 0.80 m

A = 3.60 m x 0.80 m $\qquad$ A = 2.88 m^2

[3] Ésta se calcula tomando medidas de la profundidad en tres puntos de la microcuenca y sacando un promedio.

2. **Se determina la lámina de precipitación, que para un evento de lluvia normal en el Desierto de Sonora, promedia 38.1 mm.**

3. **Se calcula el volumen de precipitación, multiplicando el área por la lámina de precipitación y un factor de conversión de milímetros a metros:**

$$V = A \times h \times f$$

Donde:

V = Volumen de precipitación en m^3

A = Área de captación en m^2

h = lámina de lluvia en mm

f = factor de conversión (1 metro = 1,000 mm)

$V = 2.88\ m^2 \times 38.1\ mm \times (1m / 1000\ mm)$ $\quad V = 0.11\ m^3$

En una precipitación promedio, este jardín recibe un volumen de 0.11 m^3.

4. **Se calcula el volumen de captación de la microcuenca.**

   En primer lugar, se determina el volumen que aporta la microcuenca. Para esto se multiplica el área que abarca la microcuenca por la profundidad promedio de la misma.

   Volumen = $2.88\ m^2 \times 0.2\ m = 0.576\ m^3$

5. **Volumen de las capas de sustrato y filtrante**

   En segundo lugar, se considera el volumen de vacíos para los dos estratos, siendo en este caso:

   - Capa de sustrato = 5% de volumen de vacíos

- Capa drenante (roca/grava) = 40% de volumen de vacíos.

    a. Volumen de la capa de sustrato:

    Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa de sustrato (50 centímetros) por el porcentaje de vacíos (5% para tierra)

    - Área de la capa de sustrato: 2.88 m^2
    - Profundidad de la capa de sustrato: 50 centímetros (0.5 m).

    Volumen = 2.88 m^2 x 0.5 m x 5% de vacíos = 0.07 m^3

    b. Volumen de la capa filtrante:

    Se multiplica el área del jardín por la profundidad de la capa filtrante (40 centímetros) por el porcentaje de vacíos (40% para grava)

    - Área de la capa de sustrato: 2.88 m^2
    - Profundidad de la capa de sustrato: 40 centímetros (0.4 m).

    Volumen = 2.88 m^2 x 0.4 m x 40% de vacíos = 0.46 m^3

    c. Capacidad total del jardín de lluvia

    Por último, hay que sumar los volúmenes de microcuenca y de las capas de sustrato y filtrante:

    Volumen de la microcuenca: 0.576 m^3

    Volumen de la capa de sustrato: 0.07 m^3

    Volumen de la capa filtrante: 0.46 m^3

    Volumen total: 1.10 m^3

    Si se compara el volumen de precipitación esperado en el jardín de 0.11 m^3 y la capacidad de captación de 1.10 m^3, podemos ver que tenemos un sobrante de capacidad de captación. Se puede asumir que en un evento de precipitación, el sobrante de capacidad que es de 0.99 m^3 será ocupado por agua que fluye por la vialidad, siempre y cuando se dote a la técnica de una entrada de agua adecuada.

Recomendación:

Es importante realizar un estudio de mecánica de suelos con muestras de suelo del sitio con el objetivo de determinar el volumen de vacíos o porosidad de manera más exacta, ya que éste parámetro es muy variable en las diferentes regiones y depende de algunos factores tales como:

- Tipo de suelo.
- Grado de compactación.
- Presencia de vegetación.

Si se conoce la percolación o la tasa de infiltración del suelo, es posible estimar cuánta agua se infiltrará en las microcuencas y en qué tiempo. Por ejemplo, si se tiene una infiltración de 1 m/día, y un evento de lluvia de 10 mm que dura media hora, podemos deducir que al final de la precipitación el agua durará unos cuantos minutos, ya que la tasa de infiltración en media hora es de 20 mm.

A continuación se describen dos métodos para determinar la infiltración.

Prueba de Percolación

Una prueba muy sencilla y que se realiza en el sitio donde se ubicará la técnica de I.V. es la prueba de percolación, la cual permite conocer la capacidad de infiltración que tiene el suelo del lugar.

La percolación se define como la infiltración del agua a través de las diferentes capas del suelo. Si la capacidad de percolación es lenta o muy rápida, nos puede indicar condiciones poco aptas del suelo para contener agua o para albergar vegetación en óptimas condiciones, respectivamente.

Es ideal que la técnica de I.V. infiltre la totalidad del agua de lluvia en un máximo de 24 horas para evitar la proliferación de mosquitos.

Para realizar una prueba de percolación se siguen los siguientes pasos:

1. Se excava una cavidad que tenga 30 centímetros de profundidad y un diámetro de 40 centímetros.
2. Se procede a saturar de humedad la cavidad. Esto se logra llenándola de agua y dejando que se infiltre totalmente tres veces.

3. Se coloca una cinta métrica o regla verticalmente dentro de la cavidad de forma que se pueda apreciar la medición de profundidad.
4. Poteriormente, se llena la cavidad totalmente con agua y se registra el tiempo que el agua tarda en bajar por centímetro.
5. Se vuelve a repetir el procedimiento de llenado hasta que los tiempos de infiltración (2 o más veces) sean aproximadamente iguales.
6. Se registra la medida, por ejemplo 14 minutos por centimetro. Esta cifra se puede convertir a metros por día; 1.02 m/día.

Cálculo de la tasa de infiltración en cuencas de I.V.

$$Q = -KA\frac{\partial h}{\partial l}$$

Donde:

Q = Índice de infiltración

K = Conductividad hidráulica del suelo

A = Área del corte de la sección (de las microcuencas)

$\frac{\partial h}{\partial l}$ = Gradiente hidráulico (fijar en 1 cuando no sea una base de roca somera, en caso contrario será la pendiente de la base de la microcuenca)

Nota: el signo negativo se debe a que el agua fluye hacia abajo.

Áreas con suelos arenosos, como zonas aledañas a ríos y arroyos, cuentan con altas tasas de infiltración. En éstas, el agua se infiltra al subsuelo rápidamente dentro de las microcuencas por lo que el riesgo de incubación de mosquitos (36 – 72 hrs) es nulo, además de vaciarse a tiempo para la próxima lluvia. En áreas donde la tasa de infiltración es baja con suelos limosos o arcillosos, como los que se encuentran cerca de lagos, se pueden tomar algunas medidas para mejorar la infiltración.

¿Observando la ecuación, que se puede hacer para mejorar la infiltración en tipos de suelo con baja conductividad hidráulica?

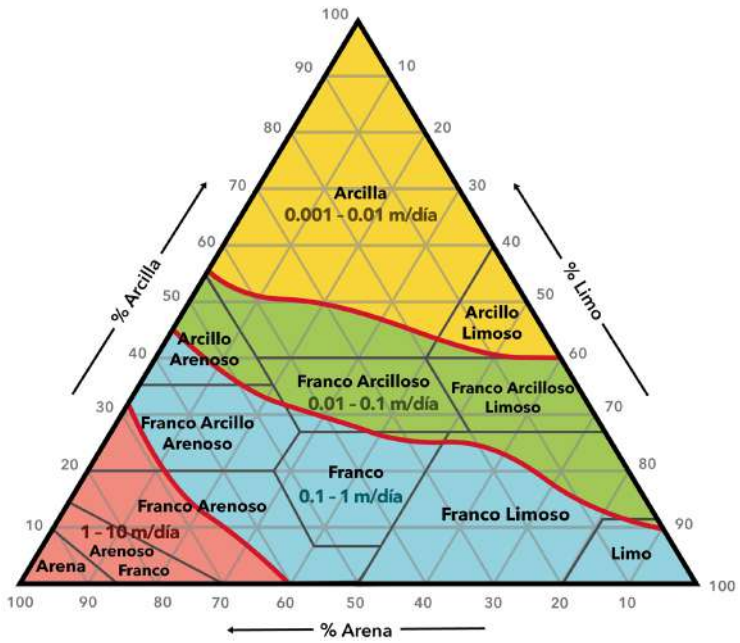
Mejorar K

Las tasas de infiltración típicas como son medidas por ingenieros, se estiman en suelos desnudos. Una alta concentración de raíces profundas de vegetación, por ejemplo los que aporta el Zacatón (Sporobolus wrightii), incrementará en gran medida la tasa de infiltración. De igual forma, la utilización de acolchado fomenta y mejora la ecología del suelo con lombrices y vegetación nativa. Otra técnica más costosa es la de sustituir o complementar el suelo con material de mayor grosor que aporte una mayor infiltración. Esto pudiera ser problemático cuando se presenta una disposición de sedimentos de partículas finas puesto que con el tiempo la porosidad del suelo se obstruirá. La mejor opción por muchas razones, es la de establecer vegetación nativa de raíces profundas lo más rápido posible.

Incrementar A

Más y/o más grandes microcuencas. Regiones con bajas tasas de infiltración necesitarán designar más áreas verdes para la absorción de escorrentías.

Figura 45. Conductividad Hidráulica Saturada (m/día) como función del tipo de suelo



Fuente: Adaptación de Van D. Clouthier, 2016.

Caso 2: Jardín Microcuenca

En un camellón de 100 metros de longitud por 4 metros de ancho se proyectará conformar un jardín microcuenca. El ancho de la sección transversal del canal de la microcuenca es de 1.50 metros en promedio, con una longitud de 89.96 metros. El área total del canal es de 134.94 m^2 y su profundidad es de 30 centímetros en promedio.

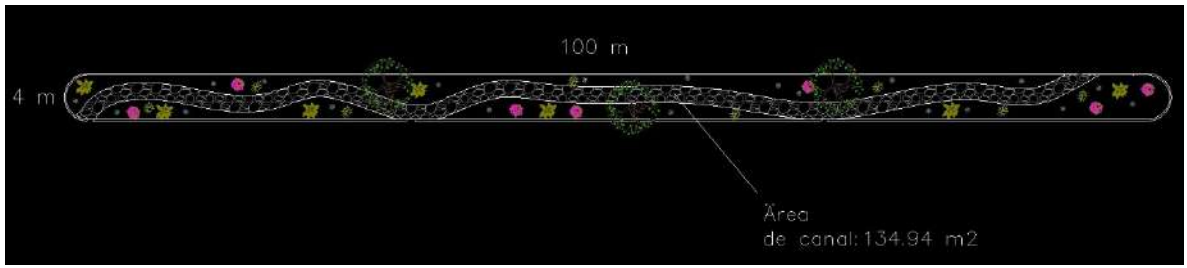
Ancho Promedio

Para determinar el ancho y profundidad promedios, se miden n número de secciones del canal y se divide entre el número de mediciones de anchos tomados:

$$\text{Ancho promedio} = \frac{\text{Ancho A + Ancho B + Ancho C + … Ancho n}}{\text{n (número de mediciones)}}$$

En el caso de la profundidad del canal es igual:

$$\text{Profundidad promedio} = \frac{\text{Profundidad A + Profundidad B + Profundidad C + … Profundidad n}}{\text{n (número de mediciones)}}$$



Utilizando la lámina de precipitación de un evento normal para una zona desértica de Sonora (38.1 mm), determinar si es suficiente la capacidad de la microcuenca para captar la precipitación.

Procedimiento

1. **Se determina la lámina de precipitación, que es de 38.1 mm.**

2. **Se calcula el volumen de agua, multiplicando el área del canal por la lámina de precipitación y un factor de conversión de milímetros a metros:**

$$V = A \times h \times f$$

Donde:

V = Volumen de precipitación en m^3

A = Área de captación en m^2

h = lámina de lluvia en mm

f = factor de conversión (1 metro = 1000 mm)

$V = 134.94\ m^2 \times 38.1\ mm \times (1m / 1000\ mm)$ $V = 5.14\ m^3$

A lo largo del canal de la microcuenca, precipitarán 5.14 m^3.

3. **Capacidad de la cuenca**

Para calcular la capacidad de la cuenca, es necesario determinar su volumen:

$$V = A \times h$$

Donde:

V = capacidad de la cuenca

A = área de captación (134.94 m^2)

h = Profundidad del canal (0.30 m)

$V = 134.94\ m^2 \times 0.30\ m$ $V = 40.48\ m^3$

La capacidad del canal es suficiente para captar la precipitación esperada sobre éste. Sin embargo, es importante considerar la precipitación que cae sobre el área total del camellón, asumiendo que toda esta precipitación ingresará en el canal. También es importante estimar la escorrentía que puede ingresar a través de las entradas pluviales, para precisar aún más el potencial de captación que se tiene en la técnica.

Caso 3: Pozos de infiltración

Se va a construir un camellón con I.V. en un estacionamiento. El camellón cuenta con muy poca área, por lo que se determinó el empleo de pozos de infiltración sin revestimiento para aprovechar el agua que cae sobre el estacionamiento.

El estacionamiento tiene un área de 900 m^2, el camellón se ubica en el centro y dispuesto longitudinalmente. Las pendientes del estacionamiento convergen hacia el camellón, lo que lo hace ideal para la ubicación de pozos de infiltración.

Determinar:

- El volumen de agua que recibirán estos pozos de infiltración.
- La cantidad y dimensiones de los mismos para poder almacenar la escorrentía del estacionamiento.

Procedimiento

Se calcula el volumen de precipitación multiplicando el área del estacionamiento por la lámina de precipitación por un factor de escurrimiento para el estacionamiento. Después se hace la conversión de unidades de milímetros de precipitación a metros.

$$V = A \times h \times f \times \rho$$

V = Volumen de precipitación en m^3

A = Área de captación en m^2

h = lámina de lluvia en mm

ρ = factor de escurrimiento

F = factor de conversión (1 metro = 1000 mm)

En nuestro caso aplica el coeficiente de escurrimiento para pavimentos (0.90), por tratarse de un estacionamiento:

V = 900.00 m^2 x 38.1 mm x (1m /1000 mm) x 0.90 V = 30.86 m^3

El volumen de escurrimiento en el estacionamiento para la precipitación dada es de 30.86 m^3.

Este volumen debe aprovecharse e infiltrarse mediante los pozos de infiltración.

1. Se propone el dimensionamiento de los pozos para poder infiltrar el volumen que escurrirá en el estacionamiento:

   Según la Tabla 4, el dimensionamiento para un pozo de infiltración abarca las siguientes medidas:

   - **Diámetro del pozo:** 1.00 m como mínimo.

   Con el volumen de escurrimiento esperado, se procede a calcular la profundidad.

1.1. Profundidad del pozo de infiltración

Para calcular la profundidad que tendrá el pozo de infiltración se emplea la siguiente fórmula:

$$V = \pi \times r^2 \times P \times p$$

Donde:

V = volumen de agua que se captará.

P = profundidad del pozo de infiltración.

π = 3.14

r = radio del pozo de infiltración.

p = porosidad de la capa del pozo que es igual a 40% del volumen de vacíos por ser material de grava.

Despejando P para conocer la profundidad de diseño, tenemos:

$$P = \frac{V}{\pi \times r^2 \times p}$$

$$P = \frac{30.86\ m^3}{3.14 \times 0.5m^2 \times 0.4} \qquad P = 98.28\ m$$

Ahora bien, podemos distribuir esta profundidad en varios pozos de infiltración a lo largo del estacionamiento, de tal manera que nos queden estructuras más adecuadas:

Profundidad adecuada para un pozo de infiltración sin revestimiento: 3.00 metros.

1.2. Cantidad de pozos de infiltración.

$$Np = \frac{\text{Profundidad Pozo de diseño}}{\text{Profundidad estándar}}$$

$$Np = \frac{98.28\ m}{3.00\ m}$$

Np = 33 pozos de infiltración de 3.00 metros de profundidad distribuidos en el estacionamiento.

Caso 4: Captación de agua pluvial en cisternas

En una biblioteca municipal de 200 m^2 de área techada, se pretende captar la precipitación para un evento de precipitación media anual (38.1 mm) y almacenarla en una cisterna. Con el agua almacenada, se desean regar 2 árboles de naranjos que se ubican en el jardín de la biblioteca.

Determinar:

1. La demanda de agua de los árboles.
2. El volumen de agua captada con dicha precipitación.
3. La capacidad y dimensionamiento de la cisterna.
4. La factibilidad de utilizar el agua de la cisterna para regar los árboles.

Procedimiento

1. Se calcula la demanda anual de agua para los árboles que se quieren plantar en el jardín:

a. Calcular el área de copa del naranjo:

$$Acp = \pi \times r^2$$

Acp = área de copa de la planta.

π = 3.14

r^2 = radio del área de captación.

Un naranjo tiene un radio de copa de 2.5 metros:

Acp = 3.14 x 2.5 m^2 = 19.625 m^2

b. Determinar el requerimiento de agua (r_a) para un Naranjo:

Para la demanda de agua, se adjunta la siguiente tabla elaborada por el Departamento de Agricultura de la Universidad de Arizona, que ajustada con datos del Servicio Meteorológico Nacional mensual (PERIODO 1951 – 2010 para Hermosillo, Sonora), nos indican la demanda de agua por planta así como la precipitación.

Tabla 21. Requerimiento hídrico de la vegetacion, con diferentes grados de demanda

Coeficiente de utilización de agua:				0.1	0.2	0.45	0.65	0.95
	Precipitación (mm)		**(mm)**	**Demanda mensual por planta = (Eto - precipitación) x coeficiente de demanda**				
Mes	**Media**	**75% de promedio**	**ET***	**Muy bajo**	**Bajo**	**Moderado**	**Alto**	**Vegetales y césped**
Enero	17.4	13.05	131.9	11.45	22.9	51.525	74.425	108.775
Febrero	14.8	11.1	154.3	13.95	27.9	62.775	90.675	132.525
Marzo	4.7	3.525	218.8	21.41	42.82	96.345	139.165	203.395
Abril	1.9	1.425	272.7	27.08	54.16	121.86	176.02	257.26
Mayo	3.9	2.925	330.7	32.68	65.36	147.06	212.42	310.46
Junio	6.1	4.575	372.9	36.68	73.36	165.06	238.42	348.46
Julio	82.5	61.875	321.1	23.86	47.72	107.37	155.09	226.67
Agosto	78.6	58.95	283.1	20.45	40.9	92.025	132.925	194.275
Septiembre	49.3	36.975	251.3	20.2	40.4	90.9	131.3	191.9
Octubre	12.1	9.075	221.8	20.97	41.94	94.365	136.305	199.215
Noviembre	9.1	6.825	167.1	15.8	31.6	71.1	102.7	150.1
Diciembre	24.9	18.675	129.1	10.42	20.84	46.89	67.73	68.99
Total (mm)	**305.3**	**228.975**	**2854.8**	**254.95**	**509.9**	**1147.275**	**1657.175**	**2422.025**

Fuente: Material de capacitación de WMG con datos de http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=son

Nota: es importante señalar que los valores de evapotranspiración (ET) varían de un lugar a otro, por lo que es necesario estimarlos para cada región. Se han realizado pruebas de ET sobre todo en cultivos con el objetivo de determinar su demanda de agua.

Instituciones de educación superior, centros de investigación en alimentos y la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) han determinado valores de evapotranspiración en cultivos como el trigo, sorgo, cártamo, maíz, entre otros, por lo que pueden servir de apoyo para obtener valores de ET locales. De esta manera, estaremos en posibilidad de conocer valores más aproximados de la demanda de agua para cada lugar.

Tomando en cuenta que el naranjo es un árbol de alto consumo de agua, el requerimiento (r_a) por unidad de área es de 1,657.175 mm o 1.66 metros anuales.

c. Calcular la demanda anual de agua:

Demanda anual de agua = Acp x r_a = 19.625 m^2 x 1.66 m = 32.58 m^3 anuales

Por los dos árboles de naranjo el agua requerida es:

32.58 m^3 x 2 = 65.16 m^3 al año.

2. Calcular el volumen de escorrentía del techo para la precipitación:

$$V = A \times H \times f \times \rho$$

Donde:

V = volumen del escurrimiento pluvial.

A = área del techo.

H = lámina de precipitación.

ρ = coeficiente de escurrimiento (para techos es 0.90)

f = factor de conversión (1 metro = 1000 mm).

V = 200 m^2 x 38.1 mm x (1m / 1000 mm) x 0.90 = 6.86 m^3 de agua que se captan del techo con una sola lluvia de 38.1 mm.

3. Determinar la capacidad de la cisterna para almacenar el agua captada.

Partiendo de que 1 m^3 = 1000 litros:

6.86 m^3 = 6,860 litros.

Se necesita tener una cisterna con una capacidad de almacenamiento de 6,500 litros para para el caso presente. No obstante, se puede considerar el almacenar más agua de lluvia, por ejemplo captando la cantidad que aporten dos eventos de lluvia como el considerado en este caso. Conociendo la cantidad de agua que se desea y es posible captar, se procede a decidir el volumen de cisterna necesario. Para lo anterior, se pueden proponer una o más cisternas para el almacenamiento de esta precipitación.

Existen en el mercado cisternas que van desde los 1, 200 litros a los 10, 000. Para el presente caso, se pueden tener las siguientes opciones:

- 2 cisternas de 5,000 litros (altura: 1.77 m y diámetro 2.20 m).
- 3 cisternas de 2,500 litros. (altura: 1.76 m y diámetro 1.55 m).
- 1 cisterna de 10,000 litros. (altura: 3.10 m y diámetro 2.20 m).

4. Factibilidad de utilizar el agua de la cisterna para el riego de los árboles propuestos.

   Se compara la disponibilidad de agua contra la demanda requerida:

   Una lluvia de 38.1 mm es equivalente a 6,860 litros para el área de captación del techo.

   La demanda anual de agua por los 2 árboles es de 65.16 m^3 x 1000 litros = 65,160 litros al año.

   Para poder satisfacer la demanda anual de agua para ambos naranjos, se requieren al menos 10 eventos de lluvia de 38.1 mm en el año.

   Nota: Es importante destacar que, mientras mayor área de captación se tenga, más agua se puede captar, en este caso la capacidad de adquirir volumen en cisternas es lo que resulta limitante. Cabe mencionar que para la vegetación con alta demanda de agua, es recomendable considerar el uso de aguas grises siempre que sea posible, ya que ésta es una fuente abundante y constante de agua.



Martha Nelly Alvarez Saucedo
Bulevar García Morales, Hermosillo, Sonora, México
17 de mayo, 2017
Vista interior de Jardín Microcuenca.

Fuentes de Información

- Aceves R. V. M. (2004). Dirección Estratégica, McGrawhill. Guadalajara, México.
- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat IslandMitigation. *Lawrence Berkeley National Laboratory*. Disponible en: http://www.osti.gov/scitech/servlets/purl/860475
- Ali-Toudert, F., & Mayer, H. (2007). Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, *81*(6), 742-754.
- Alvey, A. A. (2006). Promoting and preserving biodiversity in the urban forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, *5*(4), 195-201.
- Bedan, E. S., & Clausen, J. C. (2009). Stormwater runoff quality and quantity from traditional and low impact development watersheds1. 998-1008.
- Benedict, Mark A. y Edward T. McMahon (2006). Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. The Conservation Fund, Washington DC, EE.UU.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., & Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, *97*(3), 147-155.
- Castro E.M.L. (2011). Pavimentos permeables como alternativa de drenaje urbano. Pontífica Universidad Javeriana, Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Disponible en: https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/7483/tesis599.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Center for Watershed Protection (2010). Stormwater Management Design Manual. New York State, EE.UU. Disponible en: http://www.dec.ny.gov/docs/water_pdf/swdm2015entire.pdf
- City of Philadelphia (2014). City of Philadelphia Green Streets Design Manual. Philadelphia, EE.UU. Disponible en: http://www.phillywatersheds.org/img/GSDM/GSDM_FINAL_20140211.pdf
- City of Tucson (2005). Water Harvesting Guidance Manual. Tucson, EE.UU. Disponible en: https://www.tucsonaz.gov/files/transportation/2006WaterHarvesting.pdf
- CONAGUA (2016). Información Climatológica por Estado. Disponible en: *http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=son*

- Environmental Protection Agency of the U.S. (EPA), (2007), Reducing Stormwater Costs through Low Impact Development (LID) Strategies and Practices, reporte. Disponible en: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/2008_01_02_nps_lid_costs07uments_reducing-stormwatercosts-2.pdf
- European Commission (2013). Building a Green Infrastructure for Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Disponible en: http://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/docs/green_infrastructure_broc.pdf
- Foster, J., Lowe, A., & Winkelman, S. (2011). The value of green infrastructure for urban climate adaptation. *Center for Clean Air Policy*, *750*.
- Gallet, D. (2011). The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits. *Proceedings of the Water Environment Federation*, *2011*(17), 924-928. Disponible en: http://www.cnt.org/sites/default/files/publications/CNT_Value-of-Green-Infrastructure.pdf
- Getter, K. L., Rowe, D. B., Robertson, G. P., Cregg, B. M., & Andresen, J. A. (2009). Carbon sequestration potential of extensive green roofs. *Environmental science & technology*, *43*(19), 7564-7570.
- Government of India (s.f.). Model designs for Rain Water Harvesting and Artificial Recharge. Disponible en: http://www.wrmin.nic.in/writereaddata/ModelDesignsforRainWaterHarvesting.pdf
- Kuo, F. E. (2011). Parks and Other Green Environments:'Essential Components of a Healthy Human Habitat'. *Australasian Parks and Leisure*, *14*(1), 10. Disponible en: http://www.nrpa.org/uploadedFiles/nrpa.org/Publications_and_Research/Research/Papers/MingKuo-Research-Paper.pdf
- Lancaster, B., & Marshall, J. (2008). *Rainwater harvesting for drylands and beyond* (Vol. 1). Tucson: Rainsource Press. E.U.A.
- Landscape Institute (2009). Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes. Landscape Institute, Londres.
- Liu, K., & Baskaran, B. (2003, May). Thermal performance of green roofs through field evaluation. In *Proceedings for the First North American Green Roof Infrastructure Conference, Awards and Trade Show* (pp. 1-10). Disponible en: http://www.csustentavel.com/wp-content/uploads/2013/10/termica-gr-canada.pdf
- Los Angeles & San Gabriel Rivers Watershed Council (2010), Water Augmentation Study; Research, Strategy, and Implementation Report: Reporte. Disponible en: https://www.usbr.gov/lc/socal/reports/LASGwtraugmentation/report.pdf
- NDS Water Management (2007). Principles of Exterior Drainage. Disponible en: http://www.ndspro.com/media/wysiwyg/files/principles-of-exterior-drainage.pdf

- Norton, B. A., Coutts, A. M., Livesley, S. J., Harris, R. J., Hunter, A. M., & Williams, N. S. (2015). Planning for cooler cities: A framework to prioritise green infrastructure to mitigate high temperatures in urban landscapes. *Landscape and Urban Planning*, *134*, 127-138.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, *4*(3), 115-123. Disponible en: http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/other_publishers/OCR/ne_2006_nowak001.pdf
- Nowak, D. J., & Heisler, G. M. (2010). Air quality effects of urban trees and parks. *National Recreation and Park Association*. Disponible en: http://www.nrpa.org/uploadedFiles/nrpa.org/Publications_and_Research/Research/Papers/Nowak-Heisler-Research-Paper.pdf
- Opdam, P., Foppen, R., Reijnen, R., & Schotman, A. (1995). The landscape ecological approach in bird conservation: integrating the metapopulation concept into spatial planning. *Ibis*, *137*(s1), S139-S146.
- Picot, X. (2004). Thermal comfort in urban spaces: impact of vegetation growth: case study: Piazza della Scienza, Milan, Italy. *Energy and Buildings*, *36*(4), 329-334.
- Pima County (2015). Low Impact Development and Green Infrastructure Guidance Manual. Tucson, EE.UU. Disponible en: https://webcms.pima.gov/UserFiles/Servers/Server_6/File/Government/Flood%20Control/Floodplain%20Management/Low%20Impact%20Development/li-gi-manual-20150311.pdf
- Rotoplas (2016). Productos Rotoplas. Disponible en: http://www.rotoplas.com.mx/productos/almacenamiento/cisterna/
- Shuster, W. D., Gehring, R., & Gerken, J. (2007). Prospects for enhanced groundwater recharge via infltration of urban storm water runoff: A case study. *Journal of soil and water conservation*, *62*(3), 129-137.
- Simpson, J. R., & McPherson, E. G. (1996). Potential of tree shade for reducing residential energy use in California. *Journal of Arboriculture*, *22*, 10-18. Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/E_Mcpherson/publication/242294430_Potential_of_tree_shade_for_reducing_residential_energy_use_in_California/links/02e7e5368280606ccd000000.pdf
- Swann, L. (2008). The use of living shorelines to mitigate the effects of storm events on Dauphin Island, Alabama, USA. In *American Fisheries Society Symposium* (Vol. 64, No. 11). Disponible en: http://livingshorelinesolutions.com/uploads/Dr._LaDon_Swann__Living_Shorelines_Paper.pdf
- Tennessee Department of Environment and Conservation (2014). Tennessee Permanent Stormwater Management and Design Guidance Manual. Tenesse, EE.UU. Disponible en: http://tnpermanentstormwater.org/manual/17%20Chapter%205.4.8%20Permeable%20Pavement.pdf

- Texas Water Development Board (2005). The Texas Manual on Rainwater Harvesting (third edition). Austin, EE.UU. Disponible en: http://www.twdb.texas.gov/publications/brochures/conservation/doc/RainwaterHarvestingManual_3rdedition.pdf
- Vásquez, A. E. (2016). Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile. *Revista de geografía Norte Grande*, (63), 63-86.
- Watershed Management Group (2012). Infraestructura Verde para Comunidades del Desierto. Watershed Management Group, Tucson, E.U.A. Disponible en: https://watershedmg.org/document/infraestructura-verde-para-communidades-del-desierto-sonorense
- Waterfall P. H. (2004). Harvesting Rainwater for Landscape Use (second edition). The University of Arizona, College of Agriculture and Life Sciences. Disponible en: http://extension.arizona.edu/sites/extension.arizona.edu/files/pubs/az1344.pdf
- Watershed Management Group (2016). Water Harvesting Design Certification. Tucson, Arizona.
- Wyoming Department of Environmental Quality (2013). Urban Best Management Practice Manual. Wyoming, EE.UU. Disponible en: http://deq.wyoming.gov/media/attachments/Water%20Quality/Nonpoint%20Source/Reports%20%26%20Documents/2013_wqd-wpp-Nonpoint-Source_Urban-Best-Management-Practice-Manual.pdf
- Xiao, Q., & McPherson, E. G. (2011). Performance of engineered soil and trees in a parking lot bioswale. *Urban Water Journal*, *8*(4), 241-253. Disponible en: http://www.fs.fed.us/psw/publications/mcpherson/psw_2011_mcpherson005.pdf
- Yu, K. y Padua M. (2006). The Art of Survival: Positioning Landscape Architecture in The New Era. 2006 ASLA Annual Meeting and 43rd IFLA World Congress. Minneapolis, EE.UU.

MANUAL DE LINEAMIENTOS DE DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA VERDE PARA MUNICIPIOS MEXICANOS

BECC
COCEF

AYUNTAMIENTO DE
HERMOSILLO
2015 – 2018
IMPLAN

North American Development Bank
Banco de Desarrollo de América del Norte